

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und  
Rehabilitative Medizin

(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Axel Ekkernkamp)

der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Thema: Untersuchung von Return-to-Play-Kriterien nach vorderer  
Kreuzbandrekonstruktion  
- Vergleich zwischen Semitendinosus- und Hamstringtransplantat -**

Inaugural – Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Medizin

(Dr. med.)

der

Universitätsmedizin

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2017

vorgelegt von:

Nadine Lofski

geb. am: 21.12.1988

in: Neustadt am Rübenberge

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Max P. Baur
1. Gutachter:	Prof. Dr. A. Ekkernkamp
2. Gutachter:	Prof. Dr. B. Bouillon
Ort, Raum:	Universitätsmedizin Greifswald Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Ferdinand- Sauerbruch-Straße Seminarraum P01.37 17475 Greifswald
Tag der Disputation:	18. Oktober 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Anatomie des Kniegelenks	4
1.2	Bandapparat des Kniegelenks	5
1.3	Anatomie und Funktion der Kreuzbänder	5
1.4	Epidemiologie	7
1.5	Verletzungsmechanismus	8
1.6	Risikofaktoren und Reruptur	8
1.7	Begleitläsionen	9
1.8	Operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes	9
1.8.1	Operationsindikationen	10
1.8.2	Transplantatwahl	12
1.8.3	Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion	13
1.8.4	Entwicklung der operativen Versorgung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes	14
1.9	Rehabilitation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes	15
1.10	Return to sports	15
1.11	Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit	16
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>18</b>
2.1	Ablauf der Entstehung der Dissertation	18
2.2	Auswahl der Sprungtests	18
2.3	Konzeption des Untersuchungsbogens	19
2.4	Messmethode beim One-legged Vertical Jump	22
2.5	Patientenkollektiv	22
2.6	Nachuntersuchung	25
2.6.1	Klinische Befunderhebung	26
2.6.1.1	Umfangsmessung	26
2.6.1.2	Bewegungsmaß	26
2.6.1.3	Vorderer Schubladentest	26
2.6.1.4	Lachman-Test	27
2.6.1.5	Pivot-Shift-Test	28
2.6.1.6	KT-1000-Arthrometer	28
2.6.1.7	Funktionsuntersuchung zum Nachweis einer Meniskusschädigung	30
2.6.1.7.1	Payr-Zeichen	30
2.6.1.7.2	Böhler-Test	30
2.6.2	Scoring-Systeme	31
2.6.2.1	Score des IKDC	31
2.6.2.2	Score nach Lysholm und Gillquist	31
2.6.2.3	Score der OAK	32
2.6.3	Einbeinkniebeuge	33
2.6.4	Drop-Vertical Jump Test	33
2.6.5	Sprungtests	34
2.6.5.1	6-Meter Timed Hop Test	36
2.6.5.2	Single Hop for Distance	37
2.6.5.3	Crossover Hop for Distance	38
2.6.5.4	One-legged Vertical Jump	39
2.6.5.5	Square Hop	40
2.6.6	Kraftmessung	41
2.7	Statistische Aufbereitung des Datenmaterials	45
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>48</b>
3.1	Demografische Angaben zum Patientenkollektiv	48
3.2	Ätiologie der Kreuzbandverletzung	49
3.3	Vergleich von Gruppe 1 (keine Operation) und Gruppe 2 (Operation)	50
3.3.1	Umfangsmessung	50

3.3.2	KT-1000-Arthrometer.....	50
3.3.3	Bewegungsausmaß.....	52
3.3.4	Funktionsscores.....	52
3.3.5	Einbeinkniebeuge.....	54
3.3.6	Drop-Vertical Jump Test.....	54
3.3.7	Sprungtests.....	55
3.3.7.1	6-Meter Timed Hop Test.....	56
3.3.7.2	Single Hop for Distance.....	56
3.3.7.3	Crossover Hop for Distance.....	56
3.3.7.4	One-legged Vertical Jump.....	56
3.3.7.5	Square Hop.....	56
3.3.8	Kraftmessung.....	56
<b>3.4</b>	<b>Vergleich von Gruppe 2A (Semitendinosus) und Gruppe 2B (Hamstrings) .....</b>	<b>58</b>
3.4.1	Return to sports.....	58
3.4.2	Subjektive Beurteilung des Aktivitätslevels und des Knies.....	62
3.4.3	Umfangsmessung.....	64
3.4.4	KT-1000-Arthrometer.....	64
3.4.5	Bewegungsausmaß.....	65
3.4.6	Funktionsscores.....	65
3.4.7	Einbeinkniebeuge.....	68
3.4.8	Drop-Vertical Jump Test.....	68
3.4.9	Sprungtests.....	69
3.4.9.1	6-Meter Timed Hop Test.....	69
3.4.9.2	Single Hop for Distance.....	69
3.4.9.3	Crossover Hop for Distance.....	69
3.4.9.4	One-legged Vertical Jump.....	69
3.4.9.5	Square Hop.....	70
3.4.10	Kraftmessung.....	70
<b>3.5</b>	<b>Korrelationen innerhalb der gesamten OP-Gruppe.....</b>	<b>70</b>
3.5.1	Funktionsscores-Sprungtests.....	70
3.5.2	Kraftmessungen-Sprungtests.....	71
3.5.3	KT 1000-Sprungtests.....	72
3.5.4	Funktionsscores-Kraftmessungen.....	72
3.5.5	Funktionsscores-KT 1000.....	73
3.5.6	Kraftmessungen-KT 1000.....	73
3.5.7	Sprungtests-Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität.....	73
<b>3.6</b>	<b>1. Kraftmessung-2. Kraftmessung.....</b>	<b>73</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>75</b>
4.1	Eignet sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion?.....	76
4.2	Analyse des Vergleichs von Gruppe 2A (Semitendinosus) und 2B (Hamstrings).....	81
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>96</b>
8.1	Untersuchungsbogen.....	96
8.2	Stellungnahme der Ethikkommission.....	101
8.3	Abbildungsverzeichnis.....	103
8.4	Tabellenverzeichnis.....	105
8.5	Eidesstattliche Erklärung.....	106
8.6	Lebenslauf.....	107
8.7	Danksagung.....	109



## 1 Einleitung

Ein Riss des vorderen Kreuzbandes im Kniegelenk ist eine sehr häufige und vor allem meist folgenschwere Sportverletzung [1]. Es folgt eine lange Rehabilitationsphase, in der die Athletin bzw. der Athlet<sup>1</sup> Sport nicht oder nur bedingt ausüben kann [2]. Den Sportler interessiert dabei vor allem die Antwort auf die Frage: „Wann darf ich wieder Sport treiben?“. Dies ist auch eine in der Wissenschaft bis heute noch kontrovers diskutierte Frage. Das zeigt auch die systematische Übersichtsarbeit von Barber-Westin et al. aus dem Jahr 2011. Hiernach wurde in verschiedenen englischen Publikationen die 12. postoperative Woche bis 12 Monate nach der operativen Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes als idealer Zeitpunkt für die Rückkehr in den Sport angegeben [3].

Vor allem im Leistungssport stehen die Athleten häufig unter enormem Druck, sodass eine möglichst schnelle Wiederaufnahme des Sports für die sportliche Karriere sehr wichtig ist [4].

Aktuell existiert zudem eine unüberschaubare Anzahl an Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes [5].

Das am häufigsten verwendete Kriterium ist allein der Faktor „Zeit“, der den zeitlichen Abstand zur Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes umfasst [3]. In der systemischen Übersichtsarbeit von Barber-Westin et al. wurden in nur 13% der Studien objektive Kriterien zur Rückkehr in den Sport erwähnt [3].

Möglicherweise ist eine zu frühe Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität auch der Grund für eine vergleichsweise hohe Rerupturrate, die nach Kalberer et al. bei bis zu 20% liegt [1]. Darüber hinaus ist das Risiko einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes der kontralateralen Seite noch höher einzuschätzen [1].

Angesichts der hohen Rerupturrate scheinen die zur Zeit verwendeten Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nicht ausreichend zu sein. Es besteht daher die Notwendigkeit der Suche nach weiteren Kriterien, um so das Risiko für eine Wiederverletzung zu minimieren.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird auf eine durchgehende Nennung beider Geschlechter zugunsten der besseren Lesbarkeit verzichtet.

Ziel dieser Arbeit war es zu testen, ob sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports eignet.

Des Weiteren wurde das Outcome von Patienten nach Kreuzbandrekonstruktion mittels Hamstringtransplantat bzw. Semitendinosustransplantat verglichen.

## **1.1 Anatomie des Kniegelenks**

Das Kniegelenk, auch *Articulatio genus* genannt, ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers [6]. Funktionell gesehen handelt es sich hierbei um ein Drehscharniergelenk, sodass neben Scharnierbewegungen auch Drehbewegungen möglich sind [7]. Die Anatomie des Kniegelenks erklärt zum Teil auch seine Anfälligkeit für Verletzungen und degenerative Veränderungen. Eine wichtige Rolle spielen hierbei neben dem geringen Weichteilschutz vor allem die Inkongruenz der artikulierenden Gelenkkörper sowie die große Länge der Hebelarme [8].

Das Kniegelenk ist ein aus mehreren Teilgelenken zusammengesetztes Gelenk, in dem drei Knochen (Tibia, Femur und Patella) und die Menisken miteinander artikulieren. Femur und Patella bilden dabei das Femoropatellargelenk (*Art. femoropatellaris*) und Femur und Tibia das Femorotibialgelenk (*Art. femorotibialis*) [9]. Beide Teilgelenke werden von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben und sind miteinander gekoppelt [10]. Das Femorotibialgelenk kann noch weiter in ein mediales und ein laterales Kompartiment unterteilt werden [8].

Die Fibula ist nicht am Kniegelenk beteiligt. Sie bildet mit der Tibia ein eigenständiges Gelenk, das Tibiofibulargelenk (*Art. tibiofibularis*) [11].

Das Kniegelenk ist zum einen über ligamentäre als auch über muskuläre Strukturen gesichert. Zu den muskulären Strukturen, die für eine Stabilität des Kniegelenkes sorgen, zählen ventral die Sehne des *M. quadriceps femoris*, die an der *Tuberositas tibiae* ansetzt und die Patella als eingelagertes Sesambein enthält. Dorsal dienen u.a. der *M. semitendinosus*, *M. gracilis* und *M. sartorius* (*Pes anserinus superficialis*) sowie der *M. semimembranosus* (*Pes anserinus profundus*) als aktive Stabilisatoren [12]. Folgende Muskeln sind außerdem an der Stabilisierung des Kniegelenkes beteiligt: *Caput mediale* und *laterale* des *M. gastrocnemius*, *M. popliteus*, *M. biceps femoris* und *M. tensor fasciae latae* [13].

## 1.2 Bandapparat des Kniegelenks

Aufgrund der Inkongruenz der Gelenkflächen bilden die knöchernen Anteile des Kniegelenks nur wenig Stabilität. Dies erklärt die Wichtigkeit und den komplexen Aufbau des Bandapparats, der dem Knie zusätzliche Stabilität bietet. Es lassen sich Außen- und Binnenbänder unterscheiden.

Zu den Außenbändern zählen:

### Ventrale Bänder

- Ligamentum patellae
- Retinaculum patellae longitudinale mediale und laterale
- Retinaculum patellae transversale mediale und laterale

### Kollateralbänder

- Ligamentum collaterale fibulare und tibiale

### Dorsale Bänder

- Ligamentum popliteum obliquum und arcuatum

Zu den Binnenbändern zählen:

- Ligamentum cruciatum anterius und posterius
- Ligamentum transversum genus
- Ligamentum meniscofemorale [11].

Unter funktionellen und klinischen Gesichtspunkten werden außerdem noch die Menisci dazu gezählt [8, 11].

## 1.3 Anatomie und Funktion der Kreuzbänder

Die Kreuzbänder verlaufen zwischen der Area intercondylaris und der Innenseite des medialen bzw. des lateralen Femurkondylus. Sie liegen innerhalb des fibrösen Teils der Gelenkkapsel (d.h. intrasynovial) aber außerhalb der Gelenkhöhle (d.h. extraartikulär) [12].

Das Ligamentum cruciatum anterius (vorderes Kreuzband) verläuft von der Innenseite des Condylus ossis femoris lateralis nach ventral-medial-kaudal und inseriert in der Area intercondylaris anterior [8]. Der femorale Ursprung des vorderen Kreuzbandes hat eine ovale Form mit einem Längsdurchmesser von ca. 18 mm und einem Querdurchmesser von ca. 11 mm [12]. Im Bereich der tibialen Insertion hat

das vordere Kreuzband eine längsovale Form. Sie liegt fast im Zentrum des Tibiaplateus [14] und weist einen Längsdurchmesser von ca. 17 mm und einen Querdurchmesser von ca. 11 mm auf [12].

Das hintere, etwas kräftigere Kreuzband verläuft etwa rechtwinklig zum vorderen Kreuzband [13] und zieht von der Innenseite des Condylus ossis femoris medialis nach dorsal-lateral-kaudal in die Area intercondylaris posterior.

Durch ihren Verlauf bedingt sichern die Kreuzbänder das Kniegelenk v.a. in der Sagittalebene und verhindern Verschiebungen zwischen Tibia und Femur. Maximal angespannt sind die Ligamenta cruciata im gestreckten Kniegelenk. Teile der Kreuzbänder sind aber im Gegensatz zu den Kollateralbändern, die nur im gestreckten Knie angespannt sind, während jeder Stellung des Knies gespannt und stabilisieren das Gelenk. Der Verlauf der Kreuzbänder erklärt auch das Phänomen, dass die Kreuzbänder die Innenrotation bremsen und eine Außenrotation begünstigen, da sich diese bei Innenrotation umeinander wickeln und so die Innenrotation begrenzen und bei Außenrotation in eine Parallelstellung geraten [8].

Das vordere Kreuzband besteht aus zahlreichen kleinen Faserbündeln und lässt sich in zwei funktionelle Bündel unterteilen, das anteromediale und das posterolaterale. Beide Bündel sind in unterschiedlichen Kniestellungen angespannt [14]. So ist das anteromediale Bündel v.a. in voller Streckung und in der Beugung angespannt, während das posterolaterale Bündel nur strecknah unter Spannung steht. Histologisch gesehen sind die beiden Bündel nicht voneinander zu unterscheiden.

Im proximalen Anteil wird das vordere Kreuzband arteriell durch Endäste der A. genus media versorgt. Im distalen Teil des Kreuzbandes erfolgt die Blutgefäßversorgung aus Endästen der Aa. genus inferiores medialis und lateralis [14].

Die Sicherung der Tibia gegen die Verschiebung nach ventral ist die wichtigste Aufgabe des vorderen Kreuzbandes. Am effektivsten ist dies während einer 20-30° Beugung des Kniegelenks möglich.

Zudem sichert das vordere Kreuzband das Kniegelenk gegen varische und valgische Kräfte. Hier trägt das Kreuzband aber nur mit 15 bzw. 22% zur Sicherung bei [14].

Neben der Fähigkeit des Kreuzbandes, das Kniegelenk zu sichern, verfügt das vordere Kreuzband über propriozeptive Fähigkeiten. Das vordere Kreuzband enthält zahlreiche Mechanorezeptoren und ist daher für eine einwandfreie Propriozeption unabdingbar. Bei Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt es durch die gestörte Propriozeption zu einem neuromuskulären Defizit, das wiederum eine funktionelle Instabilität zur Folge hat. Es konnte bereits gezeigt werden, dass dieses neuromuskuläre Defizit einen großen Einfluss auf das subjektive Stabilitätsgefühl des Patienten hat [15]. Eine Möglichkeit, das neuromuskuläre Defizit zu bestimmen, ist die Messung des Hamstring-Reflexes. Hierbei handelt es sich um einen Reflexbogen zwischen dem vorderen Kreuzband und den Hamstring-Muskeln (M. biceps femoris, M. semitendinosus und M. semimembranosus). Von Lübken et al. konnten in ihren Versuchen nachweisen, dass eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes zu einer signifikanten Latenzverlängerung des Hamstringreflexes führt [15].

Das Vorkommen von Mechanorezeptoren im Kniegelenk beschrieb 1944 erstmals Gardner bei der Katze [16]. Den ersten Nachweis von Mechanorezeptoren im vorderen Kreuzband des Menschen konnten 1984 schließlich Schultz et al. erbringen [17].

#### **1.4 Epidemiologie**

Die Inzidenz von Rupturen des vorderen Kreuzbandes liegt in Deutschland nach Krudwig zur Zeit bei ca. 35 000 pro Jahr. Dies entspricht einer Anzahl von ca. 45 Rupturen pro 100.000 Einwohnern. In den Bergen kommen Kreuzbandverletzungen jedoch mit 70 auf 100.000 Einwohnern deutlich häufiger vor als in flachen Regionen (30 auf 100.000 Einwohner) [18].

Eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes tritt mehr als 10mal häufiger auf als eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes, die in Deutschland zur Zeit eine Inzidenz von 2.500 pro Jahr aufweist [18].

Nach dem Bericht „Ruptur des vorderen Kreuzbandes: operative oder konservative Behandlung?“ der Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich aus dem Jahr 2009 entstehen 73% der Kreuzbandverletzungen beim Sport. Besonders risikobehaftet sind dabei Sportarten mit schnellen Richtungswechseln und Sprüngen. Mit 28% ist das alpine Skifahren die Sportart, in der die meisten Kreuzbänder verletzt werden, gefolgt vom Fußball mit 22%. 10% der Kreuzbandverletzungen sind Arbeitsunfälle [19].

Der Altersgipfel von Rupturen des vorderen Kreuzbandes liegt zwischen 15 und 45 Jahren. 70% aller Kreuzbandrupturen fallen in diesen Lebensabschnitt [20].

### **1.5 Verletzungsmechanismus**

Nach Myklebust et al. rupturiert das vordere Kreuzband vor allem in sog. Nicht-Kontakt-Situationen, d.h. ohne direkte Einwirkung des Gegners [21]. In Ballsportarten verletzen sich Frauen ca. 2,4 bis 9,5 mal häufiger als Männer [22]. Diese unterschiedliche Inzidenz von Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei Männern und Frauen kann zum Teil durch unterschiedliche Bewegungsmechanismen erklärt werden. Weitere mögliche Erklärungsansätze sind z.B. anatomische und hormonelle Risikofaktoren [23].

Videoanalysen haben gezeigt, dass die meisten Kreuzbandverletzungen im Ballsport bei schnellen Richtungswechseln oder nach der Landung eines Sprunges entstehen [24]. In diesen Situationen ist das Kniegelenk meist leicht gebeugt, außenrotiert und in Valgusstellung. In einer solchen Position ist das vordere Kreuzband maximal angespannt und die ischiokruralen Muskeln, die die Verschiebung des Tibiakopfes nach ventral sichern und somit als muskuläre Agonisten des vorderen Kreuzbandes anzusehen sind, haben einen ungünstigen Hebelarm und können das vordere Kreuzband nur schlecht schützen [22].

### **1.6 Risikofaktoren und Reruptur**

In der publizierten Literatur werden eine Vielzahl von Faktoren, die eine erstmalige Ruptur des vorderen Kreuzbandes begünstigen, angegeben. Die meisten dieser Faktoren spielen auch als Risikofaktoren für eine Reruptur eine entscheidende Rolle. Um das Risiko einer Reruptur möglichst gering zu halten, ist es daher von großer Bedeutung, begünstigende Faktoren weitgehend zu vermeiden.

Die höhere Inzidenz von Kreuzbandrupturen bei Frauen kann zum Teil durch anatomische Begebenheiten erklärt werden [23]. So wird zum Beispiel eine enge Fossa intercondylaris als Risikofaktor angesehen, obwohl der genaue Mechanismus zwischen dem vermehrten Auftreten von Kreuzbandrupturen bei enger Fossa intercondylaris noch unklar ist [23]. Nach Shelbourne et al. bedingt eine enge Fossa intercondylaris einen geringen Kreuzbanddurchmesser, was wiederum eine geringere Reißfestigkeit des Kreuzbandes zur Folge hat [25].

Neben anatomischen Risikofaktoren scheinen aber auch hormonelle Risikofaktoren eine Rolle beim Auftreten einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes zu spielen. Unklar

ist der Einfluss der Sexualhormone auf eine Kreuzbandverletzung. Östrogen- und Progesteronrezeptoren konnten aber bereits auf Kreuzbandzellen nachgewiesen werden [23]. Zudem konnten Seil et al. 1998 in einem Tiermodell mit Kaninchen zeigen, dass hohe Östrogengaben die Zugfestigkeit des Kreuzbandes signifikant reduzieren [26]. Dies lässt einen direkten Einfluss der Sexualhormone auf die Festigkeit des Kreuzbandes vermuten.

Einige Autoren haben Faktoren zusammengetragen, die mit einer auffallend hohen Rerupturrate assoziiert sind. Zu diesen Risikofaktoren gehören: das Patientenalter, das weibliche Geschlecht, das Aktivitätslevel der betriebenen Sportart, die Art des Transplantats sowie eine Meniskusresektion. So sind v.a. Patienten, die jünger als 21 Jahre sind, gefährdet, eine Reruptur zu erleiden. Sportarten mit einem hohen Aktivitätslevel, sogenannte „high-risk sports“ wie Fußball, Basketball oder Handball, sind ebenfalls mit hohen Rerupturraten assoziiert. Im Vergleich zu Sportarten mit einem niedrigen Aktivitätslevel liegt das Rerupturrisiko hier mehr als fünfmal so hoch. Borchers et al. zeigte, dass auch die Verwendung von allogenen Transplantaten mit hohen Rerupturraten assoziiert ist. Das Risiko einer Reruptur ist hiernach bei Verwendung eines Allografts im Vergleich zum Autograft fast sechsmal so hoch [27]. Für eine möglichst sichere Rückkehr in den Sport ist nach Barbar-Westin et al. vor allem die postoperative Rehabilitation von Bedeutung [3].

### **1.7 Begleitläsionen**

Rupturen des vorderen Kreuzbandes treten nur selten allein auf. Häufig werden Rupturen des vorderen Kreuzbandes von Verletzungen des Lig. collaterale mediale und/oder einer Läsion des medialen Meniskus begleitet. Das gleichzeitige Auftreten von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes, des medialen Kollateralbandes und des medialen Meniskus wird in der Literatur auch als „Unhappy triad“ beschrieben [28]. Insgesamt ist der mediale Meniskus wesentlich anfälliger als der laterale Meniskus. Das liegt zum einen daran, dass dieser durch seine weiter voneinander entfernt liegenden Verankerungspositionen weniger beweglich ist, und zum anderen daran, dass er zusätzlich mit dem medialen Kollateralband fest verwachsen ist [13].

### **1.8 Operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes**

Nach Krudwig ist in Deutschland zur Zeit mit rund 35.000 Kreuzbandverletzungen pro Jahr zu rechnen. Davon werden jährlich circa 28.000 operativ versorgt [18].

Jedoch ist anzumerken, dass 30% aller Patienten, die nach ihrer Ruptur des vorderen Kreuzbandes zunächst konservativ behandelt werden, sich nach einem Bericht der Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich aus dem Jahr 2009 zu einem späteren Zeitpunkt einer operativen Behandlung unterziehen. Gründe hierfür sind eine nicht ausreichende Stabilität des Knies oder Zweitverletzungen [19].

### **1.8.1 Operationsindikationen**

Nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt es bei einigen Patienten zu einer symptomatischen Instabilität und Giving-way-Phänomenen im Kniegelenk. Im Verlauf kann es, bedingt durch die Instabilität, zu sekundären Schäden und degenerativen Veränderungen am Gelenk führen [29]. Eine besondere Rolle spielt hier vor allem das Auftreten von sekundären Meniskusschäden. Nach Bauer et al. liegt die Inzidenz von sekundären Meniskusschäden bei konservativ behandelten Rupturen des vorderen Kreuzbandes nach einem Jahr bei 40%, nach 5 Jahren bei 60% und nach 10 Jahren sogar bei 80%. Neben sekundären Meniskusschäden stellt auch die Entwicklung einer Osteoarthrose eine große Gefahr bei nicht operativer Behandlung der Kreuzbandverletzung dar.

Risikofaktoren für das Auftreten von sekundären Schäden und degenerativen Veränderungen sind unter anderem sogenannte „high-risk pivoting sports“, wie Fußball und Skisport, und ein hohes Aktivitätslevel des Patienten [30].

Ob eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes operativ oder konservativ behandelt werden sollte, ist auch davon abhängig, ob es sich bei dem Patienten um Kompensierer, sogenannte Coper, oder Nicht-Kompensierer, sogenannte Non-Coper, handelt.

Bei den Kompensierern ist trotz Ruptur des vorderen Kreuzbandes häufig auch eine konservative Behandlung möglich, da diese die durch die Ruptur entstandene Instabilität des Knies kompensieren können [29]. Fitzgerald et al. haben Kriterien entwickelt, um Patienten, bei denen keine operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes nötig ist, zu identifizieren. In der Studie wurde bei insgesamt 93 Patienten nach den von ihnen entwickelten Kriterien entschieden, ob sie sich für eine nicht-operative Behandlung eignen. Von den 93 Patienten erfüllten 39 die Voraussetzungen für eine nicht-operative Behandlung. 28 von diesen 39 Patienten entschieden sich dann auch für die konservative Behandlung. Die restlichen elf Patienten wünschten eine operative Behandlung. 79% (22 Patienten) der konservativ



behandelten Patienten konnten Aktivitäten des gleichen Levels wieder erreichen. Fitzgerald et al. formulierten folgende Kriterien, die als Indikatoren für eine konservative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes galten:

- Global Rating Knee Function >60%
- ≤ 1 Giving-way-Ereignis (das Giving-way-Ereignis während der Verletzung selbst zählt nicht)
- ≥ 80% im Activities of Daily Living Scale
- ≥ 80% Timed Hop Test der Gegenseite [31].

Bereits das Fehlen einer dieser Indikationen spricht für eine operative Behandlung der Kreuzbandverletzung [31]. Warum einige Patienten eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes kompensieren können und andere nicht, ist nach Petersen et al. bisher nicht geklärt [29].

Bauer et al. haben einen klinischen Score entwickelt, der die Entscheidung zwischen operativer und nicht-operativer Behandlung der Kreuzbandverletzung erleichtern soll. Bei diesem Score werden verschiedene Faktoren mit 0-3 Punkten bewertet (siehe Tab. 1). Anschließend werden die einzelnen Punktwerte addiert und ein Gesamtpunktwert ermittelt. Eine Punktzahl von mehr als 9 Punkten stellt danach eine OP-Indikation dar. Bei einer Punktzahl von 6-8 Punkten entscheidet eine individuelle Gewichtung zwischen den beiden Behandlungsmöglichkeiten. Bei 0-5 Punkten wird eine konservative Behandlung bevorzugt [30].

*Tabelle 1: Score für die operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes [30]*

	<b>3 Punkte</b>	<b>2 Punkte</b>	<b>1 Punkt</b>	<b>0 Punkte</b>
<b>Initiale Begleitverletzungen</b>	per se OP-Indikation		per se keine OP-Indikation	keine Begleitverletzung
<b>Sportart</b> (Innsbruck scale)		high risk pivot	pivot	low risk pivot
<b>Zeit sportliche Aktivität /Woche</b> (Valderrabano scale)		hoch (>5 Std.)	normal (1-5 Std.)	gering (<1 Std.)
<b>Subjektive Instabilität</b>		ja		nein
<b>Objektive Instabilität</b>			ja	nein
<b>Gelenkstatus</b> (Beinachse, Degeneration, Bandlaxizität)			Pathologien vorhanden	unauffällig
<b>Internistische Risikofaktoren</b>			ja	nein
<b>Berufliche Aktivität</b>			kniebelastend	nicht kniebelastend
<b>Compliance</b>			ja	nein

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Entscheidung zwischen operativer und nicht operativer Therapie einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes in jedem Fall individuell getroffen werden muss und es daher einer umfassenden Anamnese und Erfassung der Verletzung selbst und der Begleitverletzungen bedarf.

### 1.8.2 Transplantatwahl

Bei der Transplantatwahl haben sich die autologen Transplantate durchgesetzt. 1970-1990 galt die Verwendung der Patellarsehne als Goldstandard. Danach wurden der Semitendinosus- und Gracilissehne besonderes Augenmerk geschenkt. Auch die Quadricepssehne wird als Transplantat verwendet.

Nach Petersen et al. sollte ein ideales Transplantat vergleichbare Eigenschaften wie

das natürliche vordere Kreuzband besitzen [14].

Das vordere Kreuzband ist ca. 36 (+/-6) mm lang [14]. Dabei hat das anteromediale Bündel eine Länge von ca. 38 mm und das posterolaterale Bündel misst ca. 20 mm. Bei jungen Körperspendern liegt die maximale Last des vorderen Kreuzbandes bei 2160 N und die Steifigkeit bei 242 N/mm [32]. Nach Woo et al. ist davon auszugehen, dass die Reißfestigkeit des vorderen Kreuzbandes im Alter abnimmt [32].

Im Bereich des femoralen Ursprungs hat das vordere Kreuzband eine Querschnittsfläche von ca. 113 mm<sup>2</sup>. Tibial liegt eine Querschnittsfläche von 136 mm<sup>2</sup> vor. Den geringsten Querschnitt hat das vordere Kreuzband im mittleren Drittel mit 44 mm<sup>2</sup> bei Männern und 36,1 mm<sup>2</sup> bei Frauen [14].

Im Folgenden werden vor allem die Semitendinosus- und die Gracilissehne als Transplantat genauer vorgestellt, da diese bei dem untersuchten Patientengut Anwendung fanden.

Die Eigenschaften der Beugesehnentransplantate (Semitendinosus-/ Gracilissehne) sind mit einer maximalen Last von 2442 N und einer Steifigkeit von 238 N/mm mit denen des natürlichen vorderen Kreuzbandes vergleichbar. Ein vierfach gedoppeltes Semitendinosustransplantat hat bei Männern einen Durchmesser von ca. 7,9 mm und bei Frauen von ca. 7,5 mm. Grob lässt sich der Durchmesser des Semitendinosustransplantates mit folgender Formel vorhersagen:

Durchmesser (in cm) =  $2,4 + 0,03 \times \text{Körpergröße (in cm)}$

Wenn die Semitendinosusehne mindestens 28 cm lang ist, kann das Transplantat vierfach gedoppelt werden. Ist dies nicht der Fall, so wird zusätzlich zur Semitendinosusehne noch die Gracilissehne entnommen. Bevorzugt wird aber die alleinige Entnahme der Semitendinosusehne, da die postoperative Muskelkraft bei Entnahme beider Beugesehnen geringer ist [33].

### **1.8.3 Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion**

Der Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion der Läsion des vorderen Kreuzbandes ist nach Bauer et al. individuell zu entscheiden. Lange Zeit war man der Meinung, dass eine Operation frühestens vier bis sechs Wochen nach der Kreuzbandruptur erfolgen sollte, da bei einem früheren Operationszeitpunkt das Arthrofibrosierisiko

deutlich erhöht ist. In einer Studie von Mayr et al. wurden 223 Patienten mit Arthrofibrose nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes nachuntersucht. In dieser retrospektiven Studie konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten einer Arthrofibrose und einer präoperativen Irritation (Schwellung, Hyperthermie, Erguss) zum Zeitpunkt der Rekonstruktion nachgewiesen werden. Außerdem trat eine Arthrofibrose gehäuft bei präoperativen Schmerzen, einem eingeschränkten präoperativen range of motion (ROM) sowie einer zu frühen Wiederaufnahme des Trainings auf. Das zeigt, dass nicht nur der Zeitpunkt der operativen Rekonstruktion für das Auftreten einer postoperativen Arthrofibrose von Bedeutung ist.

In einigen Fällen ist jedoch auch eine frühe Intervention anzustreben. Indikationen für eine schnelle operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes sind nach Bauer et al.:

- komplexe Bandläsionen (hochgradige Seitenbandläsion)
- dislozierte Menisken
- neurovaskuläre Probleme
- Fragmentfrakturen.

In diesen Fällen ist eine Operation innerhalb von 48 Stunden angezeigt [30, 34].

#### **1.8.4 Entwicklung der operativen Versorgung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes**

Die Versorgung einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes hat sich im Laufe der Jahre immer wieder verändert. 1850 publizierte Stark erstmals die Versorgung einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit einer Gipsimmobilisation [35]. Es folgte die erste operative Behandlung durch eine primäre Bandnaht, die 1898 erstmals von Battle durchgeführt wurde [36]. Nachdem aber klar wurde, dass die Langzeitergebnisse dieser Therapieoption inakzeptabel waren, galt besonders der Suche nach dem optimalen Transplantatersatz besonderes Interesse. Neben autologen Transplantatersätzen wurden auch allogene und synthetische Bandersatzte ausprobiert. Es setzten sich dann aber letztendlich die autologen Transplantate durch. Zunächst wurden hierbei vor allem distal oder proximal gestielte Fascia-lata-Streifen verwendet. Heute werden Patellar-, Semitendinosus-, Gracilis- oder Quadricepssehnen transplantate eingesetzt.

Auch die operative Technik selbst hat sich weiterentwickelt. Die klassische offene Arthrotomie wurde durch die heute größtenteils verwendete arthroskopisch assistierte Operationstechnik ersetzt [37, 38].

### **1.9 Rehabilitation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes**

Der Begriff Rehabilitation kommt aus dem Lateinischen (habilis = passend, tauglich) und bedeutet soviel wie Wiederherstellung oder Eingliederung [39]. Gemeint ist damit das Bestreben, einen Menschen wieder in seinen einst existierenden körperlichen oder seelischen Zustand zurück zu versetzen.

Neben der Operation selbst ist auch die postoperative Rehabilitation für den Erfolg einer Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes von großer Bedeutung [40]. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Rehabilitationskonzepten, die zum Teil sehr unterschiedlich aufgebaut sind. Die Nachbehandlung sollte aber in jedem Fall individuell erfolgen und dem Patienten, dem Transplantat, den Belegleitläsionen sowie dem Operationsergebnis angepasst werden [41].

Nach Schönle et al. sind folgende Behandlungsziele der Rehabilitation anzustreben:

- Sicherung der Band- und Wundheilung
- Linderung der Schmerzen
- Reduktion der Schwellung auf ein Minimum
- Wiedergewinnung des vollen Bewegungsausmaßes von Hüfte und Knie
- Verhinderung einer starken Muskelatrophie
- Training der allgemeinen Ausdauer
- Erlernen von kontrolliertem Gehen [42].

### **1.10 Return to sports**

Der Erfolg einer Kreuzbandrekonstruktion wird nicht zuletzt durch die Fähigkeit des Patienten, wieder Sport auf dem präoperativen Level treiben zu können, ausgewiesen [43].

In einer Metaanalyse von Ardern et al. fanden 82% der Teilnehmer zu irgendeiner Art von sportlicher Betätigung zurück. 63% kehrten zu ihrem alten Level sportlicher Betätigung zurück, und nur 44% der Teilnehmer nahmen den Wettkampfsport wieder auf. Trotzdem erreichen ca. 90% der Teilnehmer eine normale oder fast normale Kniefunktion, wenn die Ergebnisse von Impairment-Tests, wie Kraft und Laxizität, verwendet werden [44]. Es ist unklar, warum nicht mehr Patienten wieder zu ihrem präoperativen Sport und in den Wettkampfsport zurückzukehren [45]. Einige Autoren

berichten über präoperative Faktoren, wie beispielsweise eine starke Beinmuskelfkraft und eine hohe Selbstwirksamkeit, die eine erfolgreiche Rehabilitation begünstigen [46, 47].

Roos et al. untersuchten Fußballspieler drei und sieben Jahre nach einer ACL-Verletzung. Drei Jahre nach der Verletzung waren nur noch 30% der Spieler aktiv, im Vergleich zu 80% in einer unverletzten Kontrollgruppe. Nach sieben Jahren war keiner der verletzten Spieler noch im selben Level aktiv, unabhängig davon, ob er operativ oder nicht operativ versorgt wurde [48].

### **1.11 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit**

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien über chirurgische Techniken und Fixationsmethoden des Kreuzbandersatzes publiziert, sodass es in diesen Bereichen viele neue Erkenntnisse und Fortschritte gibt.

Wichtige Faktoren des Operationserfolges, wie der richtige Zeitpunkt und die Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes, werden jedoch häufig vernachlässigt .

Gerade der Zeitpunkt der Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion ist ein kontrovers diskutiertes Thema. Dies zeigt auch die systematische Übersichtsarbeit von Barber-Westin et al. aus dem Jahr 2011. Der angegebene Zeitpunkt variiert hier von der 12. postoperativen Woche bis zum 12. postoperativen Monat [3]. Auch über die Kriterien, die zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität verwendet werden sollten, herrschen noch Uneinigkeiten. Nach der Arbeit von Barber-Westin et al. werden in 40% der Fälle gar keine Kriterien verwendet. Mit 32% ist das Kriterium Zeit der am häufigsten verwendete Parameter. In nur 15% werden zusätzlich zum Zeitkriterium noch subjektive Gesichtspunkte herangezogen. Und nur in 13% werden objektive Kriterien, wie Muskelkraft, Oberschenkelumfang, single-leg hop tests und der Lachman-Test, genutzt [3].

Das Problem der fehlenden Informationen und des klaren Konsens der Kriterien zur Wiederaufnahme des Sports könnte ein Grund für die hohe Rerupturrate sein, die bei bis zu 20% liegt [1].

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt 97 Patienten nachuntersucht. Darunter waren 52 Patienten, die eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes erhielten und ihre Rehabilitation im Rehabilitationszentrum der Universitätsmedizin Greifswald

absolvierten. Zudem wurden 45 kniegesunde Patienten untersucht. Sie stellten die Kontrollgruppe dar.

Die Nachuntersuchung des Patientenkollektivs erfolgte mittels eines eigens entwickelten Untersuchungsbogens.

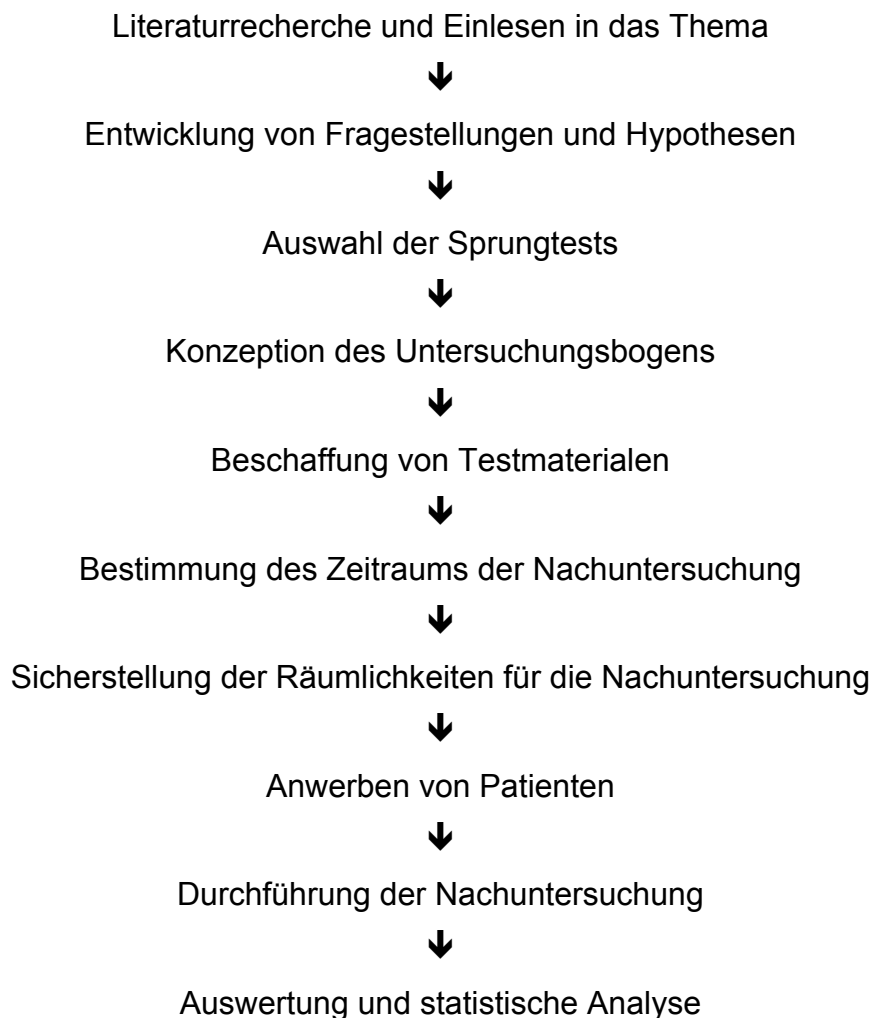
Nach intensiver Diskussion stand dabei vor allem die Klärung folgender Fragestellungen im Vordergrund:

1. Eignet sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports?
2. Besteht ein signifikanter Unterschied im Outcome bei Patienten nach Kreuzbandrekonstruktion mittels Hamstringtransplantat im Vergleich zu einer mittels Semitendinosustransplantat?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Ablauf der Entstehung der Dissertation

Zur besseren Übersicht ist in Abb. 1 der Ablauf der Entstehung der Dissertation von der Literaturrecherche, über die Nachuntersuchung bis zur Auswertung und statistischen Analyse dargestellt.



*Abbildung 1: Entstehung der Dissertation*

### 2.2 Auswahl der Sprungtests

Nach Entwicklung der Fragestellungen und Hypothesen der vorliegenden Arbeit stand die Auswahl der Sprungtests an.

Ziel dabei war es, eine Testbatterie von Sprungtests zusammenzustellen, die eine verlässliche Aussage über die funktionelle Stabilität des Kniegelenks machen kann



und damit die Entscheidungsfindung bei der Frage nach dem richtigen Zeitpunkt der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach Kreuzbandrekonstruktion unterstützt. Die Auswahl der Sprungtests orientierte sich an den Sprungtest-Analysen von T. Zantop im Rahmes des „Return-to-Play“-Projektes. Das Projekt beschäftigt sich seit Jahren mit der Frage nach dem richtigen Zeitpunkt des sportlichen Wiedereinstiegs nach Riss des vorderen Kreuzbandes. Zu dem Thema hat Zantop mehrere Arbeiten publiziert, die ebenfalls als Orientierungshilfe bei der Entwicklung einer Testbatterie von Sprungtests herangezogen wurden [49-51].

Als Vorlage diente außerdem das Review „Einsatz eines neuen, multifaktoriellen „Return to Competition Score“ für Athleten nach einer vorderen Kreuzbandruptur“ von Kalberer et al. [1]. In dieser Übersichtsarbeit wird ein von der Sportphysiotherapie der Eidgenössischen Hochschule für Sport (EHSM) entwickeltes multifaktorielles Testsystem vorgestellt.

Nach Abwägung der Literaturangaben wurde folgende Wahl für die Sprungtests getroffen:

Kraftschnelligkeitstest:

- 6-Meter Timed Hop Test

Maximaltests:

- Single Hop for Distance
- Crossover Hop for Distance
- One-legged Vertical Jump

Dauertest:

- Square Hop.

Zudem absolvierten alle Patienten den Drop-Vertical Jump Test, der ein erhöhtes Wiederverletzungsrisiko ausschließen soll [1].

Die einzelnen Tests werden im Kapitel „Sprungtests“ ausführlich vorgestellt.

## **2.3 Konzeption des Untersuchungsbogens**

Da im Hinblick auf Fragestellung und Erfassung der dafür notwendigen Daten und Befunde bisher kein entsprechender Untersuchungsbogen existierte, wurde dieser in der Arbeitsgruppe in Anlehnung an in der Literatur bereits vorhandene Untersuchungsbögen (z.B. „Formblatt zur Untersuchung des Knies“ vom IKDC) eigens konzipiert.

Der im Anhang vollständig abgebildete Untersuchungsbogen gliedert sich in folgende 5 Teile:

1. personenbezogene Daten
2. subjektive Beurteilung des Knies
3. klinische Befunderhebung
4. Ergebnisse der Sprungtests
5. Funktionsscores.

Die ersten beiden Teile des Untersuchungsbogens (personenbezogene Daten und subjektive Beurteilung des Knies) sind als Fragebogen aufgebaut.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen offenen und geschlossenen Fragen [52].

Bei den im Untersuchungsbogen vorkommenden Fragen handelt es sich zum größten Teil um Fragen mit einem geschlossenen Antwortformat. Sie bieten dem Befragten eine Auswahl an Antwortmöglichkeiten an und erleichtern die anschließende Auswertung [52].

Bei den Fragen, bei denen die Anzahl der Antwortmöglichkeiten zu groß war, um sie in Kategorien zu erfassen, wurde ein offenes Antwortformat verwendet.

Offene Fragen sind in der Auswertung etwas komplizierter, da die registrierten Antworten bei Fragen dieses Antwortformats im Gegensatz zu geschlossenen Fragen zunächst signiert werden müssen.

Unter dem Vorgang der Signierung versteht man, dass der Testleiter die registrierten Antworten in ein Kategoriensystem einordnet [52].

Im ersten Teil wurden zunächst Angaben zur Person erfasst. Er beinhaltet insgesamt 5 Fragen. Zum einen wurden soziodemografische Daten wie Alter, Geschlecht und berufliche Situation erfragt. Sie geben Aufschluss über die Zusammensetzung der Stichprobe. Des Weiteren ermöglichen sie die Überprüfung auf mögliche Zusammenhänge zwischen soziodemografischen Daten und den Ergebnissen der Kraftmessung bzw. der Funktionstests. Außerdem wurden Größe und Gewicht der Patienten ermittelt, woraus der Body-Maß-Index (BMI) nach folgender Formel berechnet wurde:

$$\text{BMI (kg / m}^2\text{)} = \text{Körpergewicht (kg) / Körpergröße (m)}^2$$
 [53].

Zudem wurden die Ätiologie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes sowie das Datum des Traumas festgehalten. Es schloss sich die Frage: „Haben Sie vor der Verletzung

Sport getrieben?“ an. Falls der Patient diese Frage mit „Ja“ beantwortete, folgten weitere Fragen zur ausgeübten Sportart und zum Zeitaufwand, mit dem dieser Sport betrieben wurde. Ferner wurde der Patient danach befragt: „Treiben Sie jetzt (wieder) Sport?“. Auch hier wurde, wenn der Patient mit „Ja“ antwortete, weiter auf den betriebenen Sport eingegangen. Wenn der Patient die Frage mit „Nein“ beantwortete, wurde nach dem Grund und einer geplanten Rückkehr zum Sport gefragt. Bei der letzten Frage dieses Teils handelt es sich um eine geschlossene Frage, mit der ermittelt wurde, ob der Patient Angst vor einer Reruptur hat.

Im nächsten Teil des Untersuchungsbogens wurde die subjektive Beurteilung des Patienten bezüglich seines Knies festgehalten. Insgesamt umfasst dieser Teil 3 Fragen (Frage 6-8). Bei Frage 6 und 7 handelt es sich um geschlossene Fragen mit je 4 Antwortmöglichkeiten.

Es wurde sich hier für eine gerade Anzahl von Antwortmöglichkeiten entschieden, damit nicht die Gefahr der Nutzung der Mittelkategorie als sog. Fluchtkategorie besteht [54].

Mit dem folgenden Teil wurden die klinischen Befunde der Knieuntersuchung erfasst. Hierbei handelt es sich zum größten Teil um geschlossene Fragen mit 4 Antwortmöglichkeiten. Die Fragen wurden so konzipiert, dass mit Hilfe dieses Teils die im fünften Teil folgenden Funktionsscores ausgefüllt werden konnten. Der Abschnitt enthielt außerdem die Stabilitätsmessung mit dem KT-1000.

Im vierten Teil wurden die Ergebnisse der Sprungtests festgehalten.

Der letzte Part enthält die Funktionsscores (OAK, IKDC und Score nach Lysholm und Gillquist).

Der Fragebogen für die Kontrollgruppe wurde leicht verändert. Aus dem ersten Teil des Untersuchungsbogens wurden die Fragen 2, 3 und 5 herausgenommen. Ergänzt wurde die Frage „Hatten Sie schon einmal eine Knieverletzung?“, um frühere Verletzungen des Knies, die eventuell die Ergebnisse beeinflussen, auszuschließen. Der erste Teil des Untersuchungsbogens der Kontrollgruppe enthält demnach 3 Fragen. Frage 4 „Treiben Sie jetzt wieder Sport?“ wurde umgeändert in „Treiben Sie Sport?“.

Der zweite Teil des Fragebogens enthält nur noch die ehemalige Frage 7. Die Fragen 6 und 8 wurden entfernt.

Der restliche Teil des Untersuchungsbogens der Kontrollgruppe blieb unverändert. Die Erstellung des Untersuchungsbogens erfolgte mit „Microsoft Word für Mac 2011“.

## 2.4 Messmethode beim One-legged Vertical Jump

Im Vordergrund stand vor der eigentlichen Beschaffung der Testmaterialien zunächst die Entscheidung für eine der zahlreichen Messmethoden beim One-legged Vertical Jump (Hierbei handelt es sich um einen der durchgeführten funktionellen Sprungtests; weitere Erläuterungen siehe Kapitel „One-legged Vertical Jump“.).

Neben der Verwendung von speziellen Kamerasystemen gehören der Vertec und Kontaktmatten zu den am häufigsten verwendeten Methoden zur Ermittlung der Sprunghöhe beim Vertikalen Einbeinsprungtest [55, 56]. Beim Vertec muss der Patient während des Sprunges Lamellen mit der Hand berühren, mit deren Hilfe dann die Sprunghöhe ermittelt wird. Kontaktmatten berechnen die Sprunghöhe aus der Flugzeit.

Da die Messung mit Kontaktmatten nach Leard et al. valider ist als mit dem Vertec, fiel die Wahl auf die Kontaktmatte [55]. Für die Nachuntersuchung wurde eine Kontaktmatte der Firma Probotics, Inc. (Huntsville, Alabama, USA) verwendet.

## 2.5 Patientenkollektiv

Für die Nachuntersuchung konnten insgesamt 97 Patienten gewonnen werden. Die Patienten setzten sich aus zwei Gruppen zusammen: einer Hauptgruppe (Gruppe 2), die Patienten nach einer Plastik des vorderen Kreuzbandes enthält, sowie einer Kontrollgruppe (Gruppe 1) mit Patienten ohne Knieverletzungen.

Innerhalb der zweiten Gruppe erfolgte je nach erhaltenem Transplantat noch eine Zuordnung in zwei Untergruppen: Gruppe 2A wurden dabei die Patienten zugeordnet, die ein Semitendinosustransplantat erhielten, während Gruppe 2B aus Patienten mit Hamstringtransplantat gebildet wurde (Tab. 2).

Tabelle 2: Gruppeneinteilung.

<b>Gruppe</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	
<b>Untergruppe</b>		<b>2A</b>	<b>2B</b>
<b>Merkmal</b>	Keine Operation	Semitendinosus	Hamstrings
<b>Anzahl der Patienten</b>	45	28	24

Für Gruppe 2 wurden Patienten gewonnen, die ihre Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mittels autologen Hamstring- oder Semitendinosustransplantat nach 2010 erhalten hatten. Das Follow-up erfolgte im Mittel 13,6 Monate (6-41 Monate) nach der Operation.

Alle operierten Patienten haben ein standardisiertes Rehabilitationstraining im Rahmen der Erweiterten Ambulanten Physiotherapie (EAP) durchlaufen.

In der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative Medizin kommt ein sich in 5 Phasen gliederndes Rehabilitationskonzept zum Einsatz. Dieses Konzept wird im Folgenden näher erläutert.

### 1. Phase: Orientierungsphase

- 1. postoperativer Tag
  - passive Bewegungsübungen (Motorschiene, Krankengymnastik) bis 0/0/90
  - Thromboseprophylaxe (Gymnastik, Kompressionsstrümpfe)
  - Mobilisation an zwei Unterarmgehstützen
  - Kniegelenksorthese (0/0/90)
- ab 2. postoperativen Tag
  - passive Bewegungsübungen
  - Patellamobilisation
  - isometrische Spannübungen
  - Kühlung
  - zweimal täglich Elektromuskelstimulation
- ab 3. postoperativen Tag
  - Training der ischiocruralen Muskulatur (aktive Flexion gegen Widerstand ggf. mit Theraband)
  - passive Extension
- ab 5. postoperativen Tag
  - Gangschule
  - Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur (u.a. Funktionsstemme/ Kniebeuger (beidbeinig); Zehenstände; Kniebeuge mit Entlastung im Sitz)
  - Dehnung (Quadriceps, ischiocrurale und Wadenmuskulatur)

## 2. Phase: Grundlagen bildende Phase (2.-4. postoperative Woche)

- Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur (u.a. Funktionsstemme/ Kniebeuger (jetzt auch einbeinig); Zehenstände; Kniebeuge)
- Propriozeptive Neuromuskuläre Fazilitation
- Propriozeptive Sensomotorische Fazilitation
- Patellamobilisation
- postisometrische Relaxation
- Isometrie
- bei Bedarf manuelle Lymphdrainage
- Unterarmgehstützen nach Befund (bei Erguss oder starker Schwellung bis zur 4. postoperativen Woche)
- Gangschule ohne Unterarmgehstützen
- Beinachsentraining
- Koordinationstraining (Softkissen, Schaukelbrett,...)
- Dehnung (Quadriceps, ischiocrurale und Wadenmuskulatur)

## 3. Phase (ab 5. postoperativer Woche)

- Vollbelastung; bis zur 8. postoperativen Woche tagsüber und bei längerer Belastung mit Orthese
- Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur (u.a. Funktionsstemme/ Kniebeuger (auch einbeinig); Zehenstände; Kniebeuge)
- bei Bedarf weiter manuelle Lymphdrainage
- Krankengymnastik im Bewegungsbad /Aquajogging
- Elektrotherapie
- „Feuchte Kammer“
- Heiße Rolle/ Pelosepackungen
- Medizinische Trainingstherapie
- Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer (Wattzahl maximal bis zum 1,5fachen Körpergewicht), Laufband oder Stepper
- Koordinationstraining (Softkissen, Schaukelbrett, Pedalo, Trampolin...)
- Dehnung (Quadriceps, ischiocrurale und Wadenmuskulatur)

## 4. Phase (ab 10. postoperativer Woche)

- Wiedereingliederung ins Berufsleben

- Entwöhnung von der Orthese (Therapie ohne Orthese; je nach Befund und subjektiven Befinden des Patienten auch zunehmend im Alltag orthesefrei)
- Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur (u.a. Funktionsstemme/ Kniebeuger (auch einbeinig); Zehenstände; Kniebeuge)
- Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer (Wattzahl maximal bis zum 1,5-fachen Körpergewicht, Dauer: 15- 20min)
- Koordinationstraining (Softkissen, Schaukelbrett, Pedalo, Trampolin ...)
- Dehnung (Quadriceps, ischiocrurale und Wadenmuskulatur)

#### 5. Phase (ab 4. postoperativen Monat)

- Beginn der sportlichen Aktivitäten (Beginn mit no- bzw. low-risk pivoting Sportarten, keine high-risk pivoting Sportarten)

Um ein möglichst homogenes Patientenkollektiv zu erhalten, wurden Patienten von der Untersuchung ausgeschlossen,

- die nicht im ausgewählten Zeitraum operiert wurden,
- die ihre Rehabilitation nicht in der Rehabilitationsklinik der Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie absolviert hatten,
- die mittels einer anderen als der aufgeführten Operationstechniken versorgt wurden,
- bei denen Begleitverletzungen vorlagen,
- bei denen es sich um einen Revisionseingriff handelte.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien konnten insgesamt 52 Patienten für die Nachuntersuchung gewonnen werden.

## **2.6 Nachuntersuchung**

Die Nachuntersuchung wurde von der Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald genehmigt (siehe Anhang).

Die Tests und Messungen wurden vom selben Untersucher nach einem standardisierten Ablauf durchgeführt.

Die Studienteilnehmer bekamen vor dem Beginn der Nachuntersuchung eine schriftliche Patienteninformation ausgehändigt. Die Patienteninformation enthielt wichtige Angaben über den Nutzen der Studie, Risiken, die Freiwilligkeit der Studie,

die Erreichbarkeit des betreuenden Arztes, den Versicherungsschutz sowie Hinweise zum Datenschutz. Zusätzlich wurden die Patienten auch noch mündlich über den Inhalt der Patienteninformation aufgeklärt. Eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme an dieser Studie wurde von den Patienten unterschrieben.

Der Ablauf der Nachuntersuchung gliederte sich wie folgt:

- Klinische Befunderhebung (Teil 1-3 des Untersuchungsbogens)
- Sprungtests (Teil 4 des Untersuchungsbogens)
- Kraftmessung

(Teil 5 des Untersuchungsbogens wurde aus Zeitgründen ohne den Patienten unmittelbar nach der Nachuntersuchung mit Hilfe des 2. und 3. Teils des Untersuchungsbogens ausgefüllt.)

## **2.6.1 Klinische Befunderhebung**

### **2.6.1.1 Umfangsmessung**

Die Messung des Umfangs der Oberschenkelmuskulatur wird hier vor allem als Kontrollparameter für die Erfassung von immobilisationsbedingten Atrophien verwendet. Sie erfolgte mit einem flexiblen Maßband 15 cm proximal des oberen Patellarandes. Für die Messung befand sich der Patient in Rückenlage mit leicht angewinkeltem Bein. Die Oberschenkelmuskulatur sollte dabei entspannt sein. Die Messwerte wurden auf halbe Zentimeter gerundet.

### **2.6.1.2 Bewegungsausmaß**

Bewegungseinschränkungen gehören zu den häufigsten Komplikationen nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes [57]. Die Beurteilung des Bewegungsausmaßes des Kniegelenkes in Streckung und Beugung zur Feststellung eines möglichen Bewegungsdefizits erfolgte nach der Neutral-Null-Methode. Das Bewegungsausmaß wurde ab einer Beuge- oder Streckhemmung von 3° als eingeschränkt bezeichnet.

### **2.6.1.3 Vorderer Schubladentest**

Beim vorderen Schubladentest wird die Verschieblichkeit von Tibia und Femur in 90° Kniebeugung geprüft. Der Patient befindet sich währenddessen in Rückenlage bei einer Hüftbeugung von 45°. Der Untersucher fixiert den Fuß des Patienten bei 90° Beugung des Knies. Es muss darauf geachtet werden, dass die ischiokrurale



Muskulatur entspannt ist. Der Untersucher umfasst im Folgenden den Tibiakopf des Patienten mit beiden Händen und zieht die Tibia dann nach ventral. Ein positives Schubladenphänomen weist auf eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes hin. Jedoch kann ein negativer Schubladentest eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes nicht ausschließen. Ein Grund für falsch negative Ergebnisse kann zum Beispiel eine Anspannung der Kniebeuger durch starke Schmerzen sein. So wirken die Kniebeuger über ihren Ansatz am Pes anserinus superficialis dem vorderen Schubladenlast entgegen [58].

Klinisch hat der vordere Schubladentest mit einer Sensitivität von 55% im Vergleich zum Lachman-Test (Sensitivität: 85%) [59] eine geringe Aussagekraft [60]. Die Spezifität des vorderen Schubladentests ist aber mit 92% mit der des Lachman-Tests (94%) vergleichbar [59].

#### **2.6.1.4 Lachman-Test**

Der Lachman-Test gehört zu den bekanntesten klinischen Tests bei Verdacht auf eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes [49]. Der Lachman-Test besitzt mit 85% eine hohe Sensitivität und auch eine hohe Spezifität (94%). Damit ist der Lachman-Test sensibler als der Schubladentest [59].

Für diesen Test liegt der Patient auf dem Rücken, wobei das zu untersuchende Knie 20-30° gebeugt sein sollte [28, 61]. In dieser Stellung ist der Hebelarm der ischiokruralen Muskulatur minimiert [41]. Dies erklärt auch die höhere Sensitivität des Lachman-Tests gegenüber dem vorderen Schubladentest [58]. Im Folgenden wird das Femur des Patienten durch den Untersucher mit der einen Hand fixiert und die Tibia mit der anderen Hand nach vorne gezogen. Das Femur kann durch das Knie des Untersuchers zusätzlich stabilisiert werden. Man spricht dann vom sogenannten stabilen Lachman-Test [61].

Nach dem International Knee Documentation Committee lässt sich die anterior-posteriore Translation in 4 Grade einteilen:

Grad 1 (normal):  $\leq 2$  mm Translation

Grad 2 (fast normal): 3-5 mm Translation

Grad 3 (abnormal): 6-10 mm Translation

Grad 4 (stark abnormal):  $> 10$  mm Translation.

Die Quantifizierung ist allerdings von der Erfahrung des Untersuchers abhängig und schwer zu objektivieren [28].

Dennoch hat der Lachman-Test eine große Bedeutung bei der Entscheidung der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität und gehört mit zu den am häufigsten verwendeten Kriterien zur Wiederaufnahme des Sports [49].

#### **2.6.1.5 Pivot-Shift-Test**

Der Pivot-Shift-Test ist ebenfalls ein wichtiges klinisches Untersuchungsverfahren bei Verdacht auf eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Er wurde 1976 erstmalig von Lemaire beschrieben [58], gewann jedoch erst 1980 durch die Publikation von Galyway und MacIntosh an Bedeutung [62].

Die Spezifität des Pivot-Shift-Tests ist mit 98% sehr hoch. Allerdings weist er nur eine Sensitivität von 32% im akuten Zustand und 40% im chronischen Zustand auf [59]. So können z.B. durch schwere degenerative Veränderungen, Meniskusläsionen oder bei Ruptur des Lig. collaterale tibiale falsch negative Befunde zustande kommen [28, 61]

Kocher et al. konnten in ihrer Studie eine Korrelation zwischen der subjektiven Patientenzufriedenheit und den Ergebnissen des Pivot-Shift-Tests zeigen [63].

Der Test eignet sich vor allem zur Feststellung von anteromedialen und –lateralen Rotationsinstabilitäten [64].

Der Patient befindet sich hierzu in Rückenlage. Der Untersucher hält mit der einen Hand den Fuß des Patienten und dreht den Unterschenkel unter Valgusstress nach innen. Mit der anderen Hand hält der Untersucher das Knie, das er im Folgenden passiv beugt.

Bei Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt es bei Erreichen einer 20-40° Beugung des Knies zu einem tastbaren Subluxationsphänomen.

Das Pivot-Shift-Phänomen kann in vier verschiedene Grade eingeteilt werden:

- normal: seitengleich
- fast normal: + (gleiten, leicht)
- abnormal: ++ (dumpf, Subluxation)
- stark abnormal: +++ (laut, kurze Blockierung) [28].

Ein Nachteil dieses Tests ist, dass die Durchführung Übung erfordert, um zuverlässige Ergebnisse zu liefern [64].

#### **2.6.1.6 KT-1000-Arthrometer**

Da die Ergebnisse des Lachman-Tests und Schubladentests schwer zu objektivieren sind, wurde das KT-1000-Kniearthrometer entwickelt.

Das KT-1000-Kniearthrometer ist ein Messgerät, das erstmals 1985 von Daniel erwähnt wurde, um die Verschieblichkeit von Tibia und Femur objektiv messen zu können [65].

Dazu stützt sich das Gerät mit zwei beweglichen Messsensoren auf Patella und distaler Tibia ab und misst die Verschieblichkeit zwischen Femur und Tibia in mm bei verschiedenen Kräften (Abb. 2). Signaltöne geben dabei die erreichte Kraft an. Der erste Ton gibt eine Kraft von 6,8 kg an, der 2. Ton eine Kraft von 9,1 kg und der 3. Ton eine Kraft von 13,6 kg.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Verschieblichkeit von Tibia und Femur bei einer Kraft von 9,1 kg (entspricht dem 2. Ton bzw. 89 N) festgehalten.

Bei einer Kraft von 89 N weist die Messung mit dem KT-1000-Athrometer eine Sensitivität von 78% und eine Spezifität von 92% auf [66].

Die Messung wurde so oft wiederholt, bis sich drei aufeinander folgende Messwerte um maximal 1 mm unterschieden. Von diesen drei Werten wurde der Mittelwert berechnet und auf 0,5 mm aufgerundet.

Zur Quantifizierung wurde auch die anterior-posteriore Translation der Gegenseite bestimmt und beide Werte miteinander verglichen. Dabei weist eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm auf eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes hin.

Die Ergebnisse der KT-1000-Messung wurden drei verschiedenen Kategorien zugeordnet. Eine Seitendifferenz von 1,5 mm oder weniger wurde als „normal“ gewertet, eine Seitendifferenz zwischen 2 und 2,5 mm als „zweifelhaft“ und eine Seitendifferenz von mehr als 3 mm als „abnormal“ [65].

Vorteil der KT-1000-Messung ist die Objektivität der Messung. Nachteil ist der hohe Preis [28]. Nach Angaben von Peterson et al. wird die KT-1000-Messung von 16,1% der Chirurgen als Kriterium für die Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität verwendet. [49].

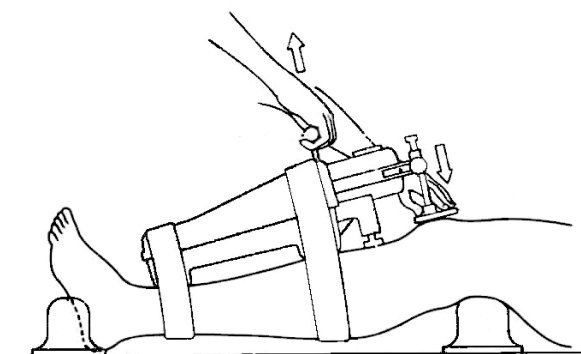


Abbildung 2: Das KT- 1000-Arthrometer [65]

Allerdings weisen der Schubladentest, der Lachman-Test und auch die KT-1000 Messung keine Drehstabilität nach. Der Nachweis der Drehstabilität ist aber mit Sprungtests, wie sie im Folgenden noch beschrieben werden, möglich.

Mehrere Studien konnten auch nachweisen, dass Sprungtests geeignet sind, um dynamische Instabilität zu untersuchen [28].

### **2.6.1.7 Funktionsuntersuchung zum Nachweis einer Meniskusschädigung**

#### **2.6.1.7.1 Payr-Zeichen**

Das Payr-Zeichen ist ein Untersuchungsverfahren, das dem Nachweis eines Meniskusschadens dient.

Hierfür befindet sich der Patient im Schneidersitz und der Untersucher drückt das Knie des Patienten nach unten.

Der Test ist positiv, wenn der Patient währenddessen Schmerzen im medialen Kniegelenkspalt hat. Dies spricht für einen Innenmeniskushinterhornschaden [61]. In der Literatur von Steinbrück et al. wird für das Payr-Zeichen bei Innenmeniskusschaden nach arthroskopischer Diagnose eine Sensitivität von 39% und ein positiver prädiktiver Wert von 53% angegeben [67]. Deutlich bessere Werte werden von Grifka et al. berichtet. In der Studie weist das Payr-Zeichen eine Sensitivität von 60% und eine Spezifität von 70% auf. Der positive prädiktive Wert wird mit 79% und der negative prädiktive Wert mit 49% angegeben [68].

#### **2.6.1.7.2 Böhler-Test**

Beim Böhler-Test handelt es sich ebenfalls um ein Untersuchungsverfahren zum Nachweis eines Meniskusschadens.

Der Patient befindet sich währenddessen in Rückenlage. Der Untersucher stabilisiert mit der einen Hand das Knie des zu Untersuchenden. Mit der anderen Hand beugt und streckt er das Knie des Patienten unter Varus- bzw. Valgusstress. Treten dabei unter Varusstress Schmerzen im medialen Gelenkspalt auf, spricht dies für einen Innenmeniskusschaden, während Schmerzen unter Valgusstress im lateralen Gelenkspalt auf einen Außenmeniskusschaden hindeuten [61]. Für den Böhler-Test geben Grifka et al. eine Sensitivität von 41% und eine Spezifität von 80% an (positiver prädiktiver Wert: 79%, negativer prädiktiver Wert: 45%) [68].

### **2.6.2 Scoring-Systeme**

In der Literatur werden verschiedene klinische Scores zur Evaluation von Kniebandinstabilitäten beschrieben. „Unter einem klinischen Score wird ein numerisches Bewertungssystem verstanden, das den Zustand eines Patienten anhand von Punktwerten für ausgewählte Untersuchungskriterien und einer daraus resultierenden Gesamtpunktzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreibt“ [69]. In der vorliegenden Arbeit wurden der „Score des IKDC“ (International Knee Documentation Committee), der „Score nach Lysholm und Gillquist“ sowie der „OAK-Score“ (Orthopädische Arbeitsgruppe Knie) verwendet. Der „Score nach Lysholm und Gillquist“ ist der am häufigsten benutzte Score und wird von einigen Autoren als „Goldstandard“ bezeichnet [70].

Die ausgewählten Scores unterscheiden sich in den Untersuchungskriterien sowie der Gewichtung der Einzelkriterien [69].

Mit Hilfe der Scoresysteme konnte das Operationsergebnis numerisch festgehalten und Ergebnisse der einzelnen Scores von verschiedenen Patienten und Patientengruppen miteinander verglichen werden.

#### **2.6.2.1 Score des IKDC**

Der Score des International Knee Documentation Committees (IKDC) beinhaltet normalerweise klinische, funktionelle und radiologische Kriterien. In dieser Arbeit wurde allerdings auf die Beurteilung der radiologischen Kriterien verzichtet.

Das Score-System gliedert sich in sieben Gruppen: Subjektive Einschätzung des Patienten, Symptome, Bewegungsumfang, Banduntersuchung, Gelenkreiben, Röntgen und Funktionstest (Die Gruppen Gelenkreiben und Röntgen wurden in dieser Arbeit nicht evaluiert). Innerhalb jeder Gruppe wurden mehrere Merkmale jeweils mit dem Bewertungsmodus „normal“, „fast normal“, „abnormal“ oder „stark abnormal“ evaluiert. Bei der Auswertung des Score-Systems geht immer nur das schlechteste Ergebnis einer Gruppe in das Gruppenergebnis ein. Das schlechteste Gruppenergebnis bestimmt dann das Gesamtergebnis. Dadurch werden bei diesem Score tendenziell eher schlechtere Ergebnisse als bei anderen Scores erreicht [69].

#### **2.6.2.2 Score nach Lysholm und Gillquist**

Hierbei handelt es sich um den am häufigsten verwendeten Score zur Evaluation von Kniebandinstabilitäten [61]. Der Score nach Lysholm und Gillquist wurde 1982 publiziert [71] und zeichnet sich durch eine leichte Handhabung und Auswertung aus

[69]. Er beruht zu 95% auf subjektiven und zu 5% auf objektiven Kriterien. Anhand eines Punkteschemas werden die Kriterien Hinken, Treppen steigen, Instabilität, Schwellung, Halt, Fähigkeit zum Hinhocken, Schmerz und Muskelatrophie in unterschiedlicher Gewichtung bewertet. Es können maximal 100 Punkte erreicht werden [61]. Die Ergebnisbeurteilung erfolgt anhand Tab. 3.

*Tabelle 3: Ergebnisbeurteilung des Scores nach Lysholm und Gillquist [69]*

<b>Punktzahl</b>	<b>Beurteilung</b>
90-100	ausgezeichnet
89-80	gut
70-79	befriedigend
<70	schlecht

### 2.6.2.3 Score der OAK

Der Score der orthopädischen Arbeitsgruppe Knie (OAK) der Schweizer Gesellschaft für Orthopädie ist ein häufig verwendeter klinischer Score zur Evaluation von Kniegelenkinstabilitäten. Es setzt sich zu 25% aus subjektiven und zu 75% aus objektiven Kriterien zusammen. Es werden Schmerzen, Schwellungen/Ergüsse, Giving-ways, Arbeitsfähigkeit, Sportfähigkeit, Druckdolenz, Umfangsdifferenz, Bewegungsausmaß, objektive Stabilität und funktionelle Tests in unterschiedlicher Gewichtung gewertet [61]. Die maximal erreichbare Punktzahl liegt bei 100 Punkten. Die Auswertung erfolgt anhand Tab. 4.

*Tabelle 4: Auswertung des Scores der OAK*

	<b>Kategorien</b>	<b>Total</b>
Sehr gut	0-4 Punkte fehlend; kein Parameter 0 Punkte	>90 Punkte und sehr gut in jeder Kategorie
Gut	5-9 Punkte fehlend; kein Parameter 0 Punkte	81-90 Punkte oder gut in einer einzelnen Kategorie
Mäßig	10-14 Punkte fehlend oder einzelner Parameter 0 Punkte	71-80 Punkte oder mäßig in einer einzelnen Kategorie
Schlecht	15 oder mehr Punkte fehlend	<70 Punkte oder schlecht in einer Kategorie

### **2.6.3 Einbeinkniebeuge**

Des Weiteren absolvierten die Patienten eine Einbeinkniebeuge (Single Leg Squat). Yamazaki et al. fanden bereits heraus, dass Patienten mit einer ACL-Defizienz nicht in der Lage sind, eine stabile Einbeinkniebeuge durchzuführen. Zudem erkannten sie Unterschiede zwischen dem verletzten und unverletzten Bein bei Patienten mit einer ACL-Verletzung. So zeigte das verletzte Bein bei weiblichen Athleten eine stärkere Varusposition. Bei männlichen Patienten waren das Knie sowie die Hüfte des verletzten Beines deutlich weniger außenrotiert, das Knie weniger gebeugt und mehr in Varusposition als das unverletzte Bein [72]. Die Einbeinkniebeuge wurde während des Follow-ups zunächst mit dem gesunden Bein und anschließend mit dem operierten Bein durchgeführt. Aufgabe des Patienten war es, fünfmal hintereinander so weit wie möglich in die Hocke zu gehen. Die Dauer pro Kniebeuge sollte ca. 2 Sekunden betragen. Die Arme waren währenddessen vor der Brust des Athleten gekreuzt.

Die Kniebeuge wurde mit „frei“, „mit Mühe“ oder „nicht möglich“ bewertet.

Crossley et al. zeigten in ihrer Studie, dass die Einbeinkniebeuge die Muskelfunktion der Abduktoren gut widerspiegelt [73].

### **2.6.4 Drop-Vertical Jump Test**

Für eine erfolgreiche Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität ist es wichtig, Rerupturen zu vermeiden.

Um Athleten mit Bewegungsmustern, die ein erhöhtes Wiederverletzungsrisiko darstellen, zu identifizieren, hat sich der Drop-Vertical Jump Test bewährt [49, 74] und als valide und reliabel gezeigt [75].

Hierfür sprang der Patient mit beiden Beinen von einer Absprunghöhe definierter Höhe (ca. 13 cm) ab und absolvierte direkt nach der Landung einen maximalen vertikalen Sprung [49]. Der Drop-Vertical Jump Test wird zur Überprüfung der neuromuskulären Kontrolle und dynamischen Stabilität verwendet, sodass Patienten mit geringer Kontrolle und fehlender Stabilisierung während der Landung und Beschleunigung in den vertikalen Sprung identifiziert werden können [5].

Bei Durchführung des Drop-Vertical Jump Tests wurde beobachtet, ob die Patienten zwischen dem ersten Bodenkontakt und dem tiefsten Punkt in Valgusposition (auch genannt „kissing knees“) landeten (vgl. Abb. 3) [49]. Eine Valgusposition ist dabei so

definiert, dass der Abstand zwischen dem rechten und dem linken Knie des Patienten kleiner ist als der zwischen den Füßen. Man geht davon aus, dass Patienten mit Valgisierung des Kniegelenks in der Landephase ein erhöhtes Risiko für Rerupturen des vorderen Kreuzbandes besitzen [5].



*Abbildung 3: Drop-Vertikal Jump Test; links Landung in Neutralstellung; rechts Landung in Valgusposition (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

### 2.6.5 Sprungtests

Sprungtests erfordern hohe koordinative Fähigkeiten und eignen sich daher zur Bestimmung des Zeitpunktes der Wiederaufnahme des Sports [28]. Erstmals wurden Sprungtests zur Evaluation der funktionellen Stabilität des Kniegelenkes von Noyes et al. beschrieben [76].

Nach Fitzgerald et al. können Sprungtests auch zwischen Patienten, die zu ihrem früheren Aktivitätslevel zurückkehren, und solchen, die ihr altes Aktivitätslevel nicht erreichen, differenzieren [31].

Prinzipiell unterscheidet man zwischen ein- und beidbeinigen Sprungtests. Während sich die beidbeinigen Sprungtests zur Beurteilung der „daily life“-Funktion eignen, ist mit den einbeinigen Sprungtests die Prüfung von Kraft und Stabilität möglich [77]. In der vorliegenden Studie wurde sich auf die Durchführung von einbeinigen Sprungtests beschränkt.



Die Kombination verschiedener einbeiniger Sprungtests hat sich in der Vergangenheit bereits als sensitiver erwiesen als die Ausführung von nur einem einzelnen einbeinigen Sprungtest, um Patienten mit einem abnormalen LSI zu identifizieren [78].

Daher wurde sich auch in dieser Arbeit für eine Kombination von verschiedenen einbeinigen Sprungtests entschieden.

Einige Autoren berichteten bereits von einer Korrelation zwischen einer reduzierten isokinetisch erfassten Muskelkraft und funktionellen Tests [79, 80]. In der vorliegenden Arbeit wurde die Muskelkraft isometrisch gemessen.

Da es sich bei den Sprungtests um reaktive Übungen handelt, bei denen vor allem Schnellkraft und Explosionskraft benötigt wird, wurden diese vor der Kraftmessung durchgeführt, bei der die Maximalkraft bestimmt wurde. Zudem sollte eine Absolvierung der Sprungtests im Ermüdungszustand vermieden werden, um so das Verletzungsrisiko möglichst gering zu halten.

Bevor mit den Sprungtests begonnen wurde, erwärmte sich der Patient zunächst zehn Minuten auf dem Fahrradergometer. Anschließend dehnte der Patient die Oberschenkelmuskulatur.

Die folgenden Sprungtests wurden abwechselnd, mit dem gesunden Bein beginnend, mit jedem Bein zweimal absolviert.

Zwischen den Versuchen eines Tests hatte der Patient 30 bis 60 Sekunden Pause. Zwischen unterschiedlichen Sprungtests wurde eine Pause von zwei Minuten eingehalten.

Aus den Mittelwerten der Ergebnisse eines Tests (gerundet auf zwei Stellen hinter dem Komma) jeder Seite wurde jeweils der LSI nach folgender Formel berechnet:

**LSI (in %) = (uninvolved side performance / involved side performance) x 100** [81].

Bei der Kontrollgruppe wurde der LSI nach folgender Formel berechnet:

**LSI (in %) = (non dominant leg / dominant leg) x 100** [81].

In Anlehnung an Noyes et al. wurde ein LSI von weniger als 85% als abnormal gewertet [76].

Die funktionellen Sprungtests wurden mit dem 6-Meter Timed Hop Test begonnen, da es bei diesem Sprungtest um Schnelligkeit ging. Es folgten der Single Hop for Distance und der Crossover Hop for Distance. Anschließend absolvierten die Patienten den One-legged Vertical Jump. Abgeschlossen wurden die Sprungtests mit dem Square Hop. Dieser Sprungtest wurde bewusst als letzter durchgeführt, da es sich um einen Ausdauer-test handelt.

Des Weiteren absolvierten alle Patienten den Drop-Vertical Jump Test. Dieser Test soll Patienten mit einem erhöhten Wiederverletzungsrisiko identifizieren.

Für die Tests, bei denen die Weite gemessen wurde, galt, dass diese nur als erfolgreich gewertet wurden, wenn die Landung innerhalb von zwei Sekunden erfolgte. Der Versuch wurde als gültig anerkannt, wenn der Athlet sicher landet und nach der Landung 1 Sekunde das Gleichgewicht halten kann. Die Weite wurde mit einem auf dem Boden befestigten Maßband gemessen. Die Tests waren nicht gelungen, wenn der andere Fuß oder die obere Extremität den Boden berührte, das Gleichgewicht verloren wurde oder der Patient beidbeinig landete. Der Test wurde dann wiederholt [82].

#### **2.6.5.1 6-Meter Timed Hop Test**

Der 6-Meter Timed Hop Test ist ein Kraftschnelligkeitstest, der 1990 erstmals von Barber-Westin et al. beschrieben wurde [81]. Bei diesem Kraftschnelligkeitstest hatte der Patient die Aufgabe, eine Distanz von 6 Metern mit großen kraftvollen einbeinigen Sprüngen möglichst schnell zu überwinden (Abb. 4). Die Zeit, die der Athlet benötigte, wurde bis auf die hundertstel Sekunde genau gestoppt [81]. Die Zeitmessung begann, wenn der Fuß des zu testenden Beins von der Startposition abhob. Gestoppt wurde, wenn der Fuß die Ziellinie überquerte [82]. Eine Anweisung zu den Armen gab es nicht [81].

Barber et al. zeigten bereits, dass sich dieser Sprungtest zum Screening nach Patienten mit verminderter Funktion der unteren Extremität eignet. In ihrer Studie verglichen sie die Zeiten des 6-Meter Timed Hop Tests von Menschen aus der normalen Population mit Menschen mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Der Test konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen dem dominanten Bein und dem nichtdominanten Bein bei unverletzten Menschen darstellen. Es konnte jedoch bei ca. 15% der Patienten mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes ein statistisch

relevanter Unterschied zwischen dem verletzten und dem nicht verletzten Bein festgestellt werden [81].

Der 6-Meter Timed Hop Test ist mit einer Spezifität von 90% und einer Sensitivität von 53% nach Logerstedt et al. der beste Test, um Patienten mit verminderter Kniefunktion zu identifizieren [83].

Nach Fitzgerald et al. kann mit dem 6-Meter Timed Hop Test nicht nur zwischen Patienten mit guter oder schlechter Kniestabilität nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes unterschieden werden, sondern auch zwischen Patienten mit erfolgreicher oder erfolgloser Rückkehr in den Leistungssport [31].

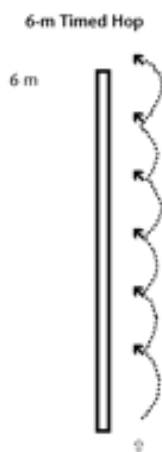


Abbildung 4: 6-Meter Timed Hop Test [82]

#### 2.6.5.2 Single Hop for Distance

Der Single Hop for Distance (Horizontaler Einbeinsprungtest) ist ein Maximaltest. Er wurde 1990 erstmals von Barber et al. beschrieben [81].

Beim Horizontalen Einbeinsprungtest wurde die maximale Sprungweite aus dem Einbeinstand gemessen (Abb. 5). Der Athlet musste dabei mit demselben Bein abspringen und landen. Für die Hände gab es keine Anweisung.

Der Test wurde entwickelt, um die konzentrische und exzentrische Kraft sowie die neuromuskuläre Koordination zu überprüfen und so Patienten zu identifizieren, bei denen das Risiko einer wiederkehrenden dynamischen Instabilität nach ACL-Rekonstruktion besteht [84].

Die Vorteile dieses Sprungtests liegen zum einen in der hohen Zuverlässigkeit zum anderen in der leichten Umsetzbarkeit in der Klinik [28].

Nach Logerstedt et al. hat der Single Hop for Distance eine Sensitivität von 53% und eine Spezifität von 72% [83].



Abbildung 5: Single Hop for Distance [82]

### 2.6.5.3 Crossover Hop for Distance

Der Crossover Hop for Distance ist ebenfalls ein Maximaltest und wurde 1991 erstmals von Noyes et al. beschrieben. Für den Crossover Hop for Distance wurde ein 15 cm breiter Klebeband mit einer Länge von ca. 6 m auf den Fußboden geklebt [76]. Aufgabe des Athleten war es drei einbeinige Sprünge zu absolvieren und mit jedem Sprung auf die jeweils gegenüberliegende Seite des Klebebands zu springen. Gemessen wurde die Gesamtweite der drei Sprünge (Abb. 6). Dabei durfte der Athlet die Arme mit nach vorne schwingen. Die Sprünge sollten so schnell gemacht werden, dass der Athlet noch in der Lage war, sicher auf einem Bein zu landen. Der Versuch wird nur als gültig gewertet, wenn der Athlet nach dem letzten Sprung sicher landet und die Position für 1 Sekunde halten kann [82, 85].

Der Crossover Hop for Distance hat nach Logerstedt et al. eine hohe Sensitivität von 88%. Die Spezifität liegt allerdings nur bei 47% [83].

Crossover Hop for Distance

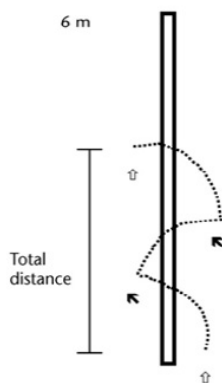


Abbildung 6: Crossover Hop for Distance [82]

#### 2.6.5.4 One-legged Vertical Jump

Der One-legged Vertical Jump (Vertikaler Einbeinsprungtest) wurde 1990 erstmals von Barber et al. beschrieben [81]. Auch bei diesem Sprungtest handelt es sich um einen Maximaltest.

Dieser Sprungtest wurde bereits von einigen Autoren als sensitiv genug angesehen, um funktionelle Defizite der unteren Extremität nach einer ACL-Rekonstruktion zu erkennen [86].

Beim One-legged Vertical Jump wird maximale Sprunghöhe aus dem Einbeinstand gemessen. Dafür stand der Patient zunächst aufrecht auf einem Bein. Die Arme des Patienten befanden sich hinter dessen Rücken, um deren Einfluss auf die Sprunghöhe zu minimieren. Der Patient beugte dann das Standbein so weit wie gewünscht, sprang unmittelbar danach so hoch wie möglich und landete mit dem selben Bein (Abb. 7) [87].

Die Sprunghöhe wurde mit dem Just Jump System der Firma Probotics Inc. (USA) gemessen. Dabei handelt es sich um eine 68,58 cm x 68,58 cm große Kontaktmatte, die aus der Flugzeit die Sprunghöhe in inch berechnet. Mit dieser Matte können Höhen zwischen 5 und 59 inch mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5$  inch bestimmt werden. Die Sprunghöhe wurde anschließend mit dem Faktor 2,54 von inch in cm umgewandelt und auf zwei Stellen hinter dem Komma aufgerundet. Diese Kontaktmatte wurde von Leard et al. als akkurate Messmethode zur Messung der Höhe des One-legged Vertical Jumps angesehen. Im Vergleich mit der Messung durch ein 3-Kamera System wird die Methode als valide beschrieben [55].



*Abbildung 7: Vertikaler Einbeinsprungtest (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

#### **2.6.5.5 Square Hop**

Der Square Hop (Quadratsprungtest) ist ein Dauertest und wurde 1998 erstmals von Östenberg et al. beschrieben [88]. Er wurde leicht modifiziert, wie von Gustavsson et al. dargestellt, durchgeführt [87].

Für diesen Sprungtest stand der Patient zunächst innerhalb eines 40 x 40 cm Quadrats, das mit Klebeband auf dem Fußboden markiert wurde. Um dieses Quadrat wurde außerdem ein 10cm breiter Rahmen markiert (Abb. 8). Die Hände des Teilnehmers befanden sich hinter seinem Rücken. Aufgabe des Sportlers war es, innerhalb von 30 Sekunden so viele Sprünge wie möglich über den Abstandsrahmen zu absolvieren. Die Sprünge mussten mit dem rechten Bein im Uhrzeigersinn und mit dem linken Bein entgegen dem Uhrzeigersinn aus dem Quadrat hinaus über den 10 cm Rahmen und dann wieder hinein gesprungen werden. Gezählt wurde jeder gültige Sprung über den Abstandsrahmen. Der Test wurde einbeinig abwechselnd mit beiden Beinen (zuerst gesundes Bein) absolviert. Pro Bein hatte der Patient zwei

Versuche, von denen jeweils der Mittelwert bestimmt wurde. Die Anzahl der Sprünge beider Seiten wurden dann miteinander verglichen und der LSI berechnet. Sprünge, bei denen der Abstandsrahmen berührt wurde, wurden als Fehlversuche gewertet und nicht mitgezählt. War die Anzahl der Fehlversuche  $>25\%$ , wurde nach 3-minütiger Pause ein neuer Versuch abgenommen [87].



*Abbildung 8: Quadratsprungtest (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

### 2.6.6 Kraftmessung

Ziel der durchgeführten Kraftmessungen war es, die maximale isometrische Kraft der Kniegelenksexpressoren und –flexoren zu messen, um persistierende Kraftdefizite zu erfassen.

Eine optimale Kraft der Quadriceps- und Hamstringmuskulatur wird für die Prävention und Rehabilitation nach Verletzungen des Knies als notwendig angesehen [80]. Da die Quadriceps- und Hamstringmuskeln die wichtigsten Stabilisatoren des Kniegelenks sind [89], ist davon auszugehen, dass Patienten mit einer geringen Muskelstärke eine verminderte Fähigkeit haben, das Kniegelenk zu stabilisieren, woraus wiederum ein erhöhtes Risiko für eine Ruptur entsteht [90].

Die Maximalkraft ist allerdings u.a. vom individuellen Trainingszustand, vom Alter, vom Geschlecht und der betriebenen Sportart des Patienten abhängig. Um das

gemessene Leistungsvermögen dennoch adäquat vergleichen zu können, wurde der sogenannte Limb Symmetry Index (LSI) berechnet. Dabei wird das Leistungsvermögen durch einen direkten Vergleich mit der gesunden Seite beurteilt. Er gibt das prozentuale Verhältnis des operierten Beines zum nicht operierten Bein an und berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{LSI} = (\text{Involved side performance} / \text{uninvolved side performance}) \times 100$$

Ein LSI von weniger als 85% wird als abnormal angesehen [76].

Neben der Maximalkraft der Hamstrings- und Quadricepsmuskulatur scheint auch deren Verhältnis zueinander eine Rolle zu spielen [5]. Empfehlungen, wie dieses Verhältnis optimaler Weise sein sollte, gibt es allerdings kaum. So konnte Barber-Westin et al. weder in ihrer systematischen Übersichtsarbeit „Factors Used to Determine Return to Unrestricted Sports Activities After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction“ noch in „Objective Criteria for Return to Athletics After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Subsequent Reinjury Rates: A Systematic Review“ Daten für ein optimales Hamstrings-Quadriceps-Verhältnis finden [3, 91]. In der vorliegenden Arbeit wurde daher in Anlehnung an die Arbeit von van Grinsven et al. die Differenz beider Beine gebildet. Diese sollte nach van Grinsven et al. zur Wiederaufnahme des Sports kleiner als 0,15 sein [92].

Die Kraftmessung wurde isometrisch durchgeführt. Sie hat im Gegensatz zur dynamischen Kraftmessung den Vorteil des fehlenden Lerneffektes [93].

Bei der Planung der Durchführung der Kraftmessung musste zunächst die Anzahl der Versuche festgelegt werden. Sie ist von besonderer Bedeutung, da davon auszugehen ist, dass mit zunehmender Versuchsanzahl die Muskulatur ermüdet. Allerdings musste auch beachtet werden, dass eine ausreichende Anzahl von Versuchen nötig ist, um die Maximalkraft tatsächlich zu erfassen. Unter Berücksichtigung dieser Punkte wurden an jedem Gerät mit jedem Bein je zwei Versuche durchgeführt. Die Messungen erfolgten im Seitenwechsel. Falls sich die Kraftwerte beider Messungen eines Beines um mehr als 10% voneinander unterschieden, wurde eine dritte Messung mit dem entsprechenden Bein vorgenommen.



Die Kraftmessung wurde an folgenden drei Geräten absolviert: Funktionsstemme, Beinbeuger und Beinstrecker.

Dass sich diese Kombination eignet, um Kraftdefizite nach einer ACL-Rekonstruktion zu erfassen, zeigten bereits Neeter et al. [94]. Unter physiologischen Umständen sollte der LSI der Strecker beider Seiten sowie der der Beuger beider Seiten 1 sein. Ebenso sollte das Verhältnis beider Beine bei der Funktionsstemme 1 sein. Als abnormal wird ein LSI von weniger als 85% angesehen [76].

Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Studie zwei Kraftmessungen durchgeführt. Eine erste Kraftmessung erfolgte in der 10. postoperativen Woche und damit am Ende der Rehabilitation. Die zweite Kraftmessung wurde während des Follow-ups im Durchschnitt nach 13,6 Monaten (6-41 Monate) durchgeführt.

Die Kraftmessung begann an einer Funktionsstemme von FREI AG (Kirchzarten, Deutschland) (Abb. 9). Die Funktionsstemme testet neben der Quadriceps- und der Hamstringkraft auch die Kraft des M. glutues maximus.

Die Tests wurden sitzend in individueller Sitzposition vorgenommen. Der Patient hatte zunächst 5 bis 7 Eingewöhnungswiederholungen pro Seite.

Im Folgenden wurde mit der Kraftmessung des gesunden Beins begonnen. Dazu wurde die Fußplatte in eine Druckmessplatte umgewandelt. Das gerade nicht getestete Bein wurde auf einer Stufe am Rand des Gerätes abgestellt. Während der Kraftmessung wurde darauf geachtet, dass das Kniegelenk in der Ausgangsposition zu 100° gebeugt war.



*Abbildung 9: Funktionsstemme (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

Nach Durchführung der Kraftmessung an der Funktionsstemme wurde die Kraft der Kniebeuger gemessen (Abb. 10). Diese Kraftmessung wurde ebenfalls an einem Gerät der Firma FREI durchgeführt.

Bei der Beinbeugung wird v.a. die Hamstringkraft beurteilt. Auch hier wurden zunächst 5 bis 7 einbeinige Eingewöhnungswiederholungen absolviert, bevor mit der eigentlichen Kraftmessung begonnen wurde. Die Messung wurde bei einer Kniebeugung von  $40^\circ$  durchgeführt. Der Ablauf der Kraftmessung entsprach dem der Funktionsstemme, wobei hier das gerade nicht getestete Bein einfach hängen gelassen wurde.



*Abbildung 10: Beinbeuger (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

Als letztes wurde die Kraftmessung der Strecker nach dem gleichen bereits erläuterten Ablauf durchgeführt (Abb. 11).

Bei der Beinstreckung wird im Gegensatz zur Beinbeugung v.a. die Quadricepskraft beurteilt. Die Messung erfolgte bei einer Kniebeugung von 60°.



*Abbildung 11: Beinstrecker (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)*

## **2.7 Statistische Aufbereitung des Datenmaterials**

Die computergestützte Datenaufbereitung wurde mit IBM SPSS Statistics Version 22 (IBM Deutschland, Ehningen, Deutschland) durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein Programmsystem zur statistischen Analyse von Daten. SPSS wurde 1968 an der amerikanischen Stanford University von Norman Nie, Delae Bent und Hadlei Hull entwickelt. Mittlerweile ist SPSS das weltweit verbreitetste Programmsystem zur Datenanalyse. Die Abkürzung SPSS steht für „Statistical Product and Service Solutions“ [52].

Bevor die Daten mit SPSS analysiert wurden, wurden die personenbezogenen Daten pseudonymisiert. Jeder Fragebogen wurde mit einem Code, einer Buchstaben- und Zahlenkombination, versehen. Dadurch können die Daten nicht mehr einer Person zugeordnet werden, aber bei Bedarf kann wieder auf den Originalfragebogen zurückgegriffen werden.

Im Folgenden wurde der Untersuchungsbogen codiert, d.h. den Antwortmöglichkeiten wurden Zahlen zugeordnet.

Bei dichotomen Fragen wurde die Antwortmöglichkeit „ja“ mit „1“ und die Antwort „nein“ mit „0“ codiert. Bei geschlossenen Fragen wurden die Antwortalternativen in Leserichtung codiert. Die erste Antwortmöglichkeit erhielt eine „1“, die zweite eine „2“, die dritte eine „3“ usw..

Bei der KT-1000-Messung wurden die Mittelwerte aller drei Messungen einer Seite, wie in „KT-1000“ beschrieben, den 3 Kategorien „normal“, „zweifelhaft“ und „abnormal“ zugeordnet. Die Kategorie „normal“ wurde mit „0“ codiert, „zweifelhaft“ mit „1“ und „abnormal“ mit „2“.

Bei den Funktionstests wurde, wie bereits beschrieben, der LSI berechnet. Der OAK-Score wurde wie folgt ausgewertet: Ein „sehr gutes“ Ergebnis wurde einer „0“, ein „gutes“ Ergebnis mit einer „1“, ein „mäßiges“ mit einer „2“ und ein „schlechtes“ mit einer „3“ versehen.

Ähnlich erfolgte die Codierung der Ergebnisse des Lysholm-Scores. Hier wurde ein „ausgezeichnetes“ Ergebnis mit „0“, ein „gutes“ mit „1“, ein „befriedigendes“ mit „2“ und ein „schlechtes“ mit „3“ bewertet.

Beim IKDC-Score entsprach „Grad A“ in der Gesamtbewertung einer „0“, „Grad B“ einer „1“, „Grad C“ einer „2“ und „Grad D“ einer „3“.

Die von den Patienten betriebenen Sportarten wurden nach der Innsbruck Knee Sports Rating Scale in „High Risk Pivoting Sports“, „Low Risk Pivoting Sports“ und „No Risk Pivoting Sports“ eingeteilt. Danach zählen zu den „High Risk Pivoting“ Sportarten u. a. Fußball, Handball, Basketball, Squash, Tennis und Ski alpin. Zu den „Low Risk Pivoting“ Sportarten gehören Skilanglauf, Bergwandern, Joggen, Klettern, Volleyball und Aerobic. Radfahren und Schwimmen sind sogenannte „No Risk Pivoting“ Sportarten [95]. Wenn ein Patient mehrere Sportarten angab, wurde immer die Sportart mit dem höchsten Risiko zur Kategorisierung verwendet. Sportarten, die in der Innsbrucker Knee Sports Rating Scale nicht vorkamen, wurden nach eigenem Ermessen wie folgt ergänzt:

Skaten: High Risk Pivoting Sports

Badminton: High Risk Pivoting Sports

Fitness: Low Risk Pivoting Sports.

Der zeitliche Aufwand, mit dem die Patienten ihren Sport ausführen, wurde nach dem Sports Frequency Score von Valderrabano et al., wie in Tabelle 5 aufgeführt, gewichtet.

*Tabelle 5: Sports Frequency Score [96]*

<b>Score</b>	<b>Definition</b>
0 (kein)	Keine sportliche Aktivität
1 (moderat)	Moderates Level sportlicher Aktivität in der Freizeit, <1 h/Woche
2 (normal)	Normales Level sportlicher Aktivität in der Freizeit, 1-5 h/Woche
3 (high)	Hohes Level sportlicher Aktivität in der Freizeit, >5 h/Woche
4 (elite)	Professionelles Level sportlicher Aktivität, Eliteathlet

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Demografische Angaben zum Patientenkollektiv

In der vorliegenden Studie wurden 97 Patienten untersucht. Die Studienteilnehmer wurden, wie bereits in Kapitel 2.5 „Patientenkollektiv“ beschrieben, in verschiedene Patientengruppen eingeteilt.

Das Durchschnittsalter der 45 Studienteilnehmer aus Gruppe 1 lag bei 32,22 Jahren. Der jüngste Patient dieser Gruppe war 19 Jahre alt und der älteste 58. Gruppe 1 umfasste 21 Männer (46,7%) und 24 Frauen (53,3%). Der mittlere BMI der Studienteilnehmer dieser Gruppe ergab einen Wert von 22,96 (17,11- 35,55). 77,8% (35) der Patienten aus Gruppe 1 waren Sportler.

Die Patienten der Gruppe 2A waren im Durchschnitt 30,04 Jahre (14-51 Jahre) alt. Die Gruppe bestand aus 20 Männern (71,4%) und 8 Frauen (28,6%), davon waren 23 (82,1%) vor ihrer Kreuzbandverletzung sportlich aktiv.

Das Durchschnittsalter von Gruppe 2B lag bei 36 Jahren (23-56 Jahre). In dieser Gruppe waren 15 Männer (62,5%) und 9 Frauen (37,5%). 21 der 24 Patienten dieser Gruppe (87,5%) betrieben vor ihrer Verletzung Sport.

Die Werte sind übersichtshalber in Tab. 6 zusammengefasst.

*Tabelle 6: Darstellung der Patientengruppen mit Aufschlüsselung einiger Merkmale. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.*

	Gruppe 1	Gruppe 2	
Untergruppe		2A	2B
Merkmal	Keine Operation	Semitendinosus	Hamstrings
Anzahl	45	28	24
Männlich	21 (46,7%)	20 (71,4%)	15 (62,5%)
Weiblich	24 (53,3%)	8 (28,6%)	9 (37,5%)
Durchschnittsalter in Jahren	32,22	30,04	36,00
BMI	22,96	26,03	26,21
Sportler	35 (77,8%)	23 (82,1%)	21 (87,5%)

Die Gruppen 1 und 2 bzw. 2A und 2B unterscheiden sich bezüglich der Variablen Alter, Größe, Gewicht und BMI nicht signifikant voneinander (T-Test bei unabhängigen Stichproben).

### 3.2 Ätiologie der Kreuzbandverletzung

40 der insgesamt 52 Studienteilnehmer aus Gruppe 2 haben sich ihre Kreuzbandverletzung während des Sports zugezogen. Dies entspricht 76,9% und macht damit die große Mehrheit der Verletzungsursachen aus. 17,3% gaben an, sich im Alltag verletzt zu haben. 3,8% erlitten die Verletzung auf der Arbeit und eine Person konnte sich an kein Trauma erinnern (Abb. 12).

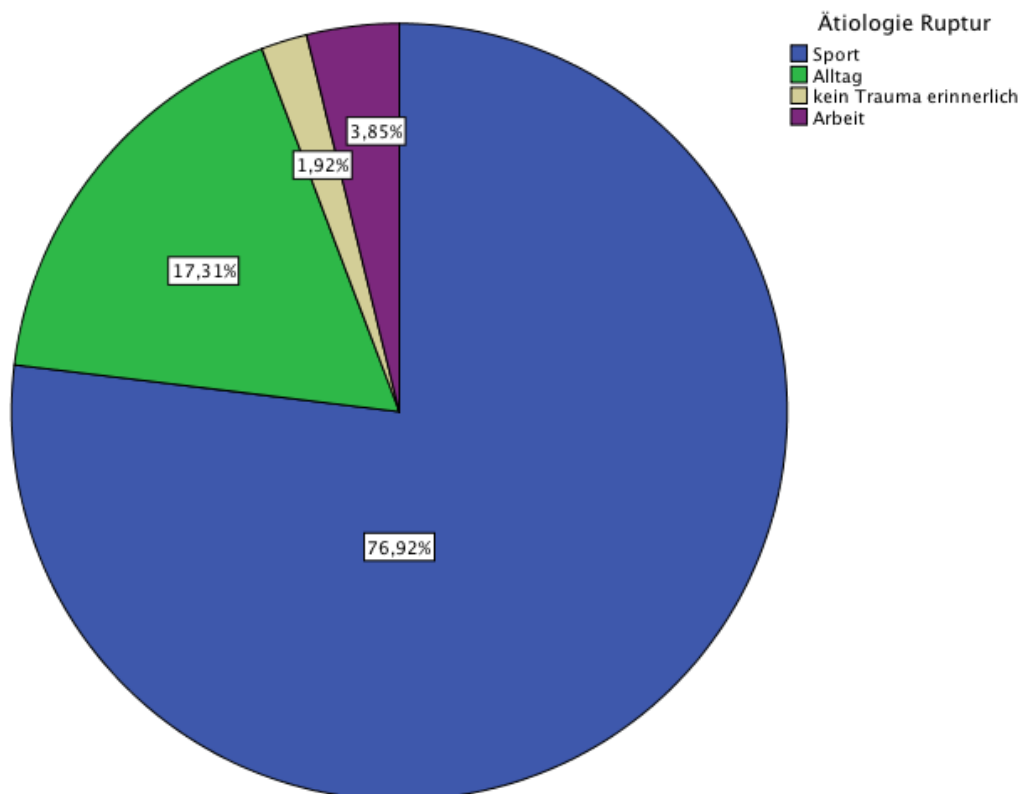


Abbildung 12: Ätiologie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. 76,9% der Patienten verletzten sich beim Sport. Prozentangaben beziehen sich auf das Gesamtkollektiv aus Gruppe 2 (Operation, N=52).

Auffällig war, dass sich die meisten Patienten (75%) das Kreuzband ihres dominanten Beines (bei 65,4% handelte es sich dabei um das rechte Bein) gerissen hatten. Nur bei 25% war das verletzte Bein das nicht dominante Bein des Patienten.

### 3.3 Vergleich von Gruppe 1 (keine Operation) und Gruppe 2 (Operation)

#### 3.3.1 Umfangsmessung

Bei allen Patienten wurde der Oberschenkelumfang 15 cm proximal des oberen Patellarandes an beiden Beinen gemessen und dann die Differenz beider Beine zur Erfassung von immobilisationsbedingten Atrophien ermittelt.

In der Gruppe der Nichtoperierten (Gruppe 1) hatten die Patienten im Durchschnitt eine Umfangsdifferenz von 0,61 cm zwischen beiden Oberschenkeln. Bei den Operierten (Gruppe 2) lag die Umfangsdifferenz im Mittel bei 1,13 cm (Abb. 13). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist mit  $p=0,001$  (Mann-Whitney-U-Test) signifikant.

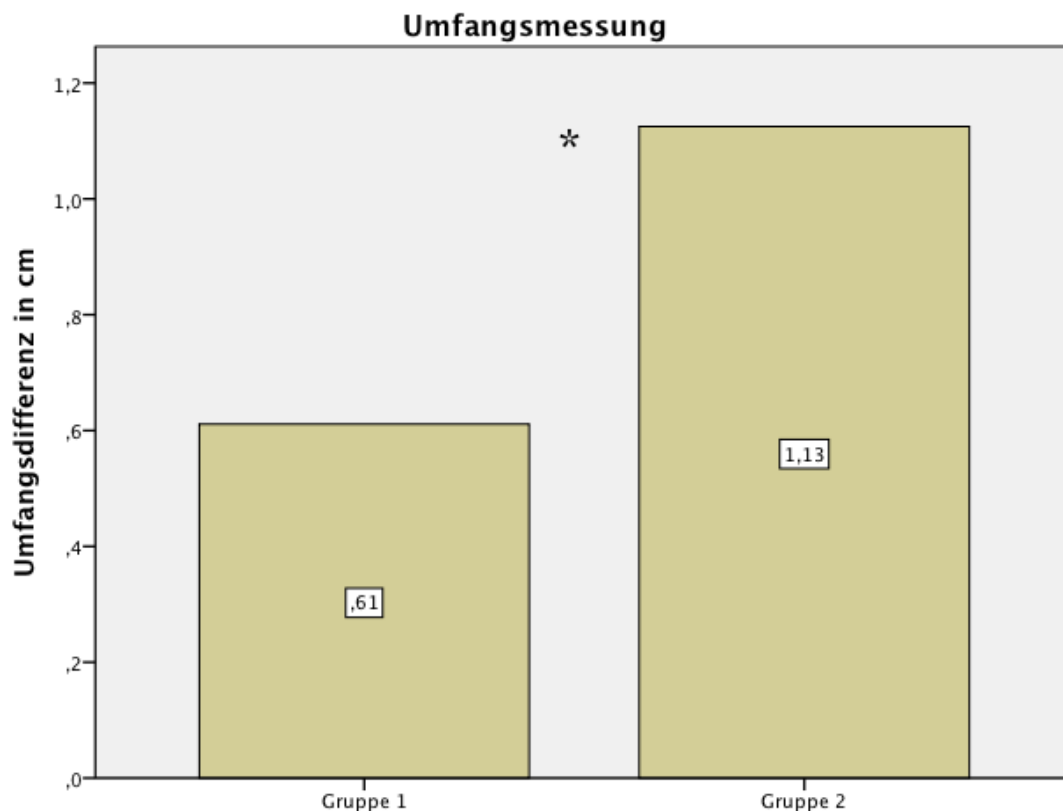


Abbildung 13: Umfangsmessung. Dargestellt ist die Umfangsdifferenz zwischen beiden Beinen in cm. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). \*Statistisch signifikanter Unterschied ( $p<0,001$ ).

#### 3.3.2 KT-1000-Arthrometer

Die anterior-posteriore Translation, die als Maß für die Kniestabilität genommen werden kann, wurde mit Hilfe des KT-1000-Arthrometers ermittelt.



In der Gruppe der Nichtoperierten (Gruppe 1) hatte mit 71,1% die Mehrzahl der Patienten eine Seitendifferenz von weniger oder gleich 1,5 mm. 22,2% wiesen eine Seitendifferenz von 2 bis 2,5 mm auf und nur bei 6,7% betrug die Seitendifferenz 3 mm oder mehr. Bei den Operierten (Gruppe 2) hatte mit 51,9% nur knapp die Hälfte der Patienten eine Seitendifferenz von weniger oder gleich 1,5 mm. Bei 21,2% wurde eine Seitendifferenz von 2 bis 2,5 mm vermessen und immerhin noch 26,9% hatten eine Seitendifferenz, die größer oder gleich 3 mm war (Abb. 14). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist mit  $p=0,021$  (Mann-Whitney-U-Test) signifikant.

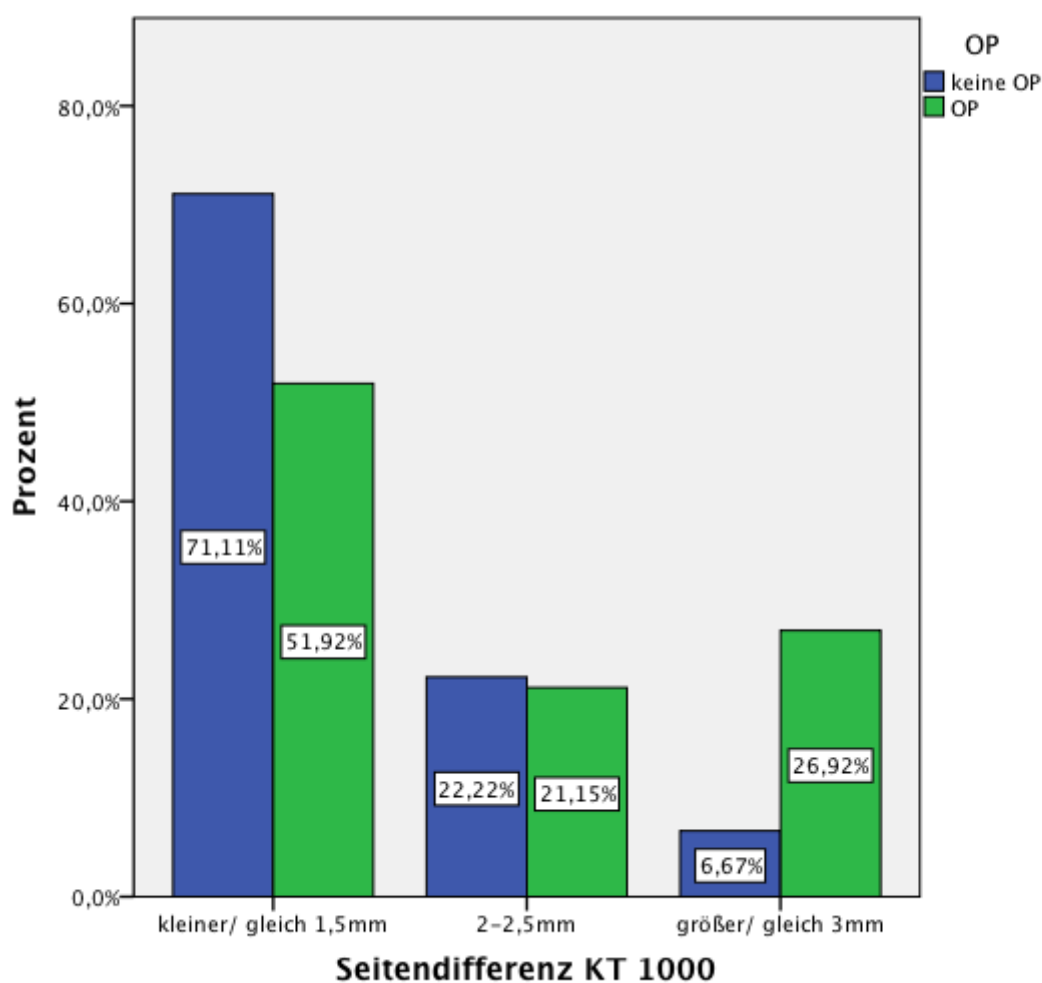


Abbildung 14: Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation zwischen beiden Beinen gemessen mit dem KT-1000. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). In Gruppe 2 ist die Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation signifikant ( $p<0,05$ ) geringer als in Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

### 3.3.3 Bewegungsausmaß

Ein uneingeschränktes Bewegungsausmaß gehört nach Barber-Westin et al. zu den häufigsten Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität [3].

In der Gruppe 1 lag mit 95,6% bei fast allen eine uneingeschränkte Beweglichkeit des Kniegelenks vor. In Gruppe 2 war das Bewegungsausmaß zum Zeitpunkt des Follow-ups bei mehr als der Hälfte der Patienten (53,8%) eingeschränkt. (Das Bewegungsausmaß wurde ab einer Beuge- oder Streckhemmung von 3° als eingeschränkt bezeichnet.) Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war damit signifikant ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-U-Test).

### 3.3.4 Funktionsscores

Bei den Patienten wurde das Knie mit drei verschiedenen klinischen Scores zur Evaluation von Kniebandinstabilitäten (OAK-, Lysholm-, IKDC-Score) beurteilt. Mit allen drei Funktionsscores hatte Gruppe 2 signifikant ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-U-Test) schlechtere Ergebnisse als Gruppe 1 (Abbildung 15 bis 17).

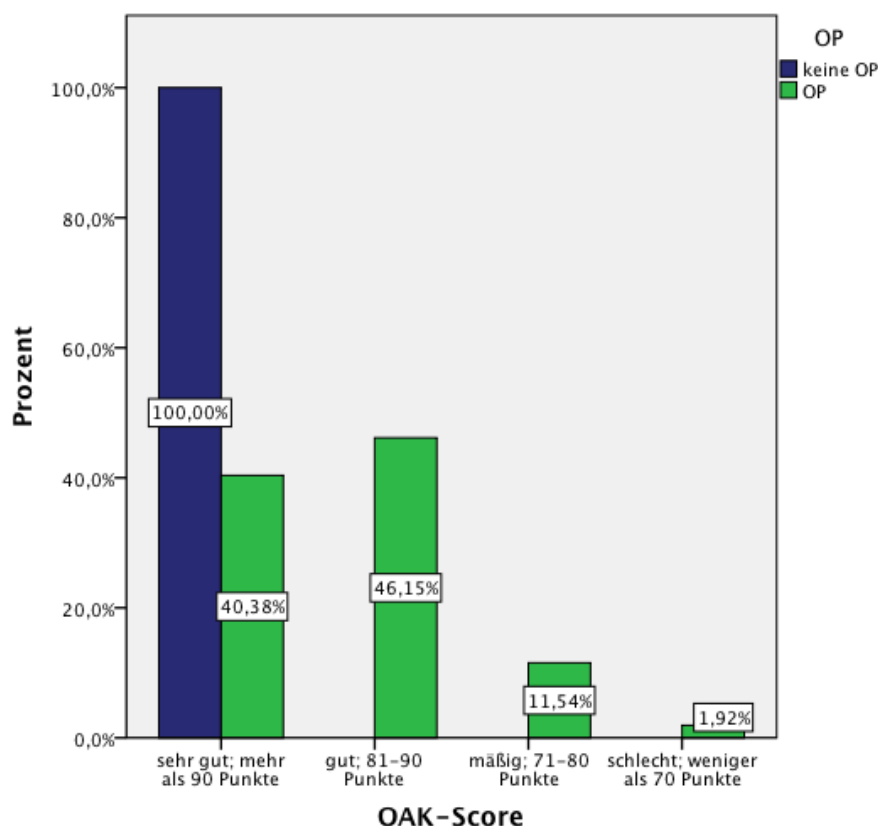


Abbildung 15: OAK-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p < 0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

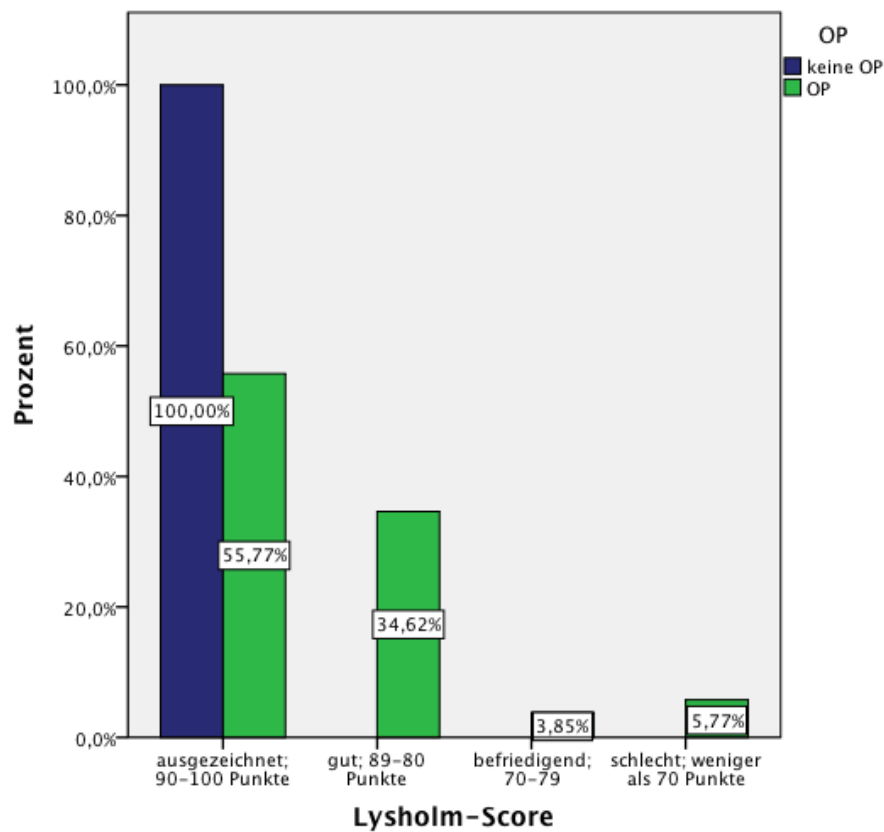


Abbildung 16: Lysholm-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p < 0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

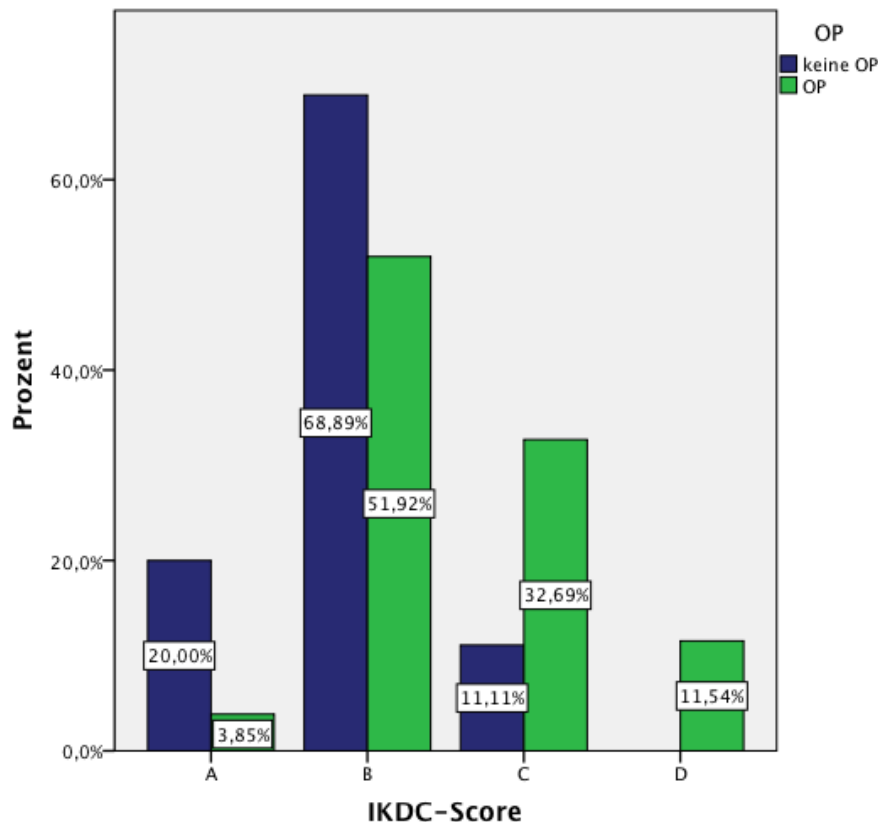


Abbildung 17: IKDC-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p < 0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

### 3.3.5 Einbeinkniebeuge

Als Maß für die Kraft der Abduktoren absolvierten die Patienten eine Einbeinkniebeuge. In Gruppe 1 konnten 97,8% eine Kniebeuge ohne Probleme realisieren. In Gruppe 2 konnte die Kniebeuge von 65,4% frei und von 34,6% mit Mühe bewältigt werden. Der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 war damit nach dem Mann-Whitney-U-Test mit  $p < 0,001$  signifikant unterschiedlich.

### 3.3.6 Drop-Vertical Jump Test

Der Drop-Vertical Jump Test dient der Überprüfung der neuromuskulären Kontrolle und dynamischen Stabilität [5] und soll so Patienten mit einem erhöhten Rerupturrisiko identifizieren.

Der Großteil (57,8%) der Patienten aus Gruppe 1 konnte bei diesem Test in Neutralstellung eingeordnet werden. 35,6% landeten in Valgusstellung und lediglich 3 Personen (6,7%) in Varusstellung. In Gruppe 2 erreichte mit 71,2% ebenfalls die Mehrheit die Neutralstellung. 28,8% fanden sich hier in Valgusstellung wieder (Abb.

18). Der Unterschied zwischen der Gruppe der Operierten und Nichtoperierten ist damit nicht signifikant ( $p=0,842$ ; Mann-Whitney-U-Test).

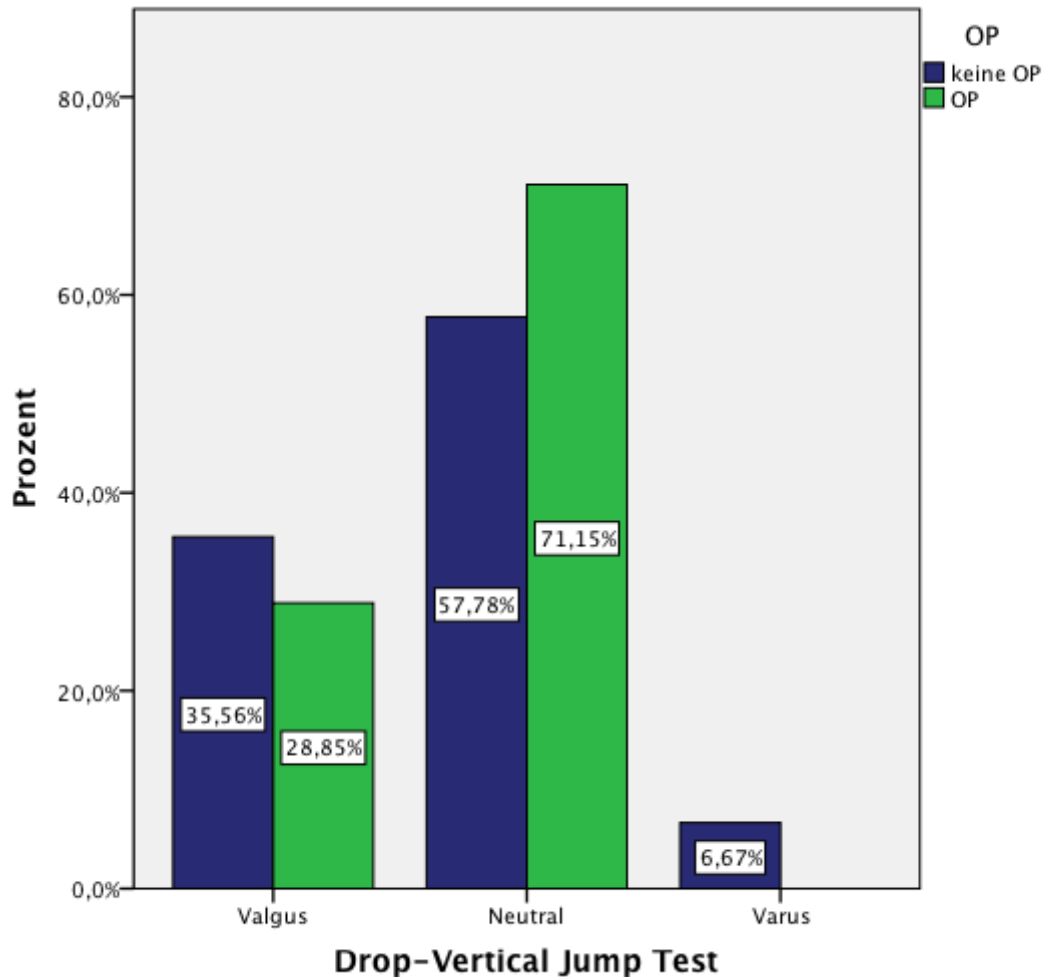


Abbildung 18: Drop-Vertical Jump Test. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP,  $N=45$ ) und Gruppe 2 (OP,  $N=52$ ). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist nicht signifikant ( $p>0,05$ ).

### 3.3.7 Sprungtests

Zur Messung der funktionellen Stabilität absolvierten die Patienten eine eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests. Zu dieser Testbatterie gehörten ein Kraftschnelligkeitstest (6-Meter Timed Hop Test), drei Maximaltests (Single Hop for Distance, One-legged Vertical Jump, Crossover Hop for Distance) und ein Dauertest (Square Hop). Im Durchschnitt erreichte Gruppe 1 bei den Sprungtests einen LSI von 97,31%. Der durchschnittliche LSI der Sprungtests von Gruppe 2 lag zum Zeitpunkt

des Follow-ups bei 88,31% und war damit signifikant ( $p < 0,001$ ) schlechter als der von Gruppe 1.

#### **3.3.7.1 6-Meter Timed Hop Test**

Gruppe 1 hatte beim 6-Meter Timed Hop Test im Mittel einen LSI von 97,53% (SD 7,10). Bei Gruppe 2 war der Durchschnitts-LSI mit einem Wert von 89,93% mit  $p = 0,023$  (Mann-Whitney-U-Test) signifikant schlechter als bei Gruppe 1.

#### **3.3.7.2 Single Hop for Distance**

Deutliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen konnten auch mit dem Horizontalen Einbeinsprungtest nachgewiesen werden. Hier erreichte Gruppe 1 einen Mittelwert von 95,67% und Gruppe 2 von 87,88%. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war mit  $p = 0,001$  signifikant (Mann-Whitney-U-Test).

#### **3.3.7.3 Crossover Hop for Distance**

Ähnliche Ergebnisse (signifikant,  $p = 0,008$ ; Mann-Whitney-U-Test) wurden von beiden Gruppen auch beim Crossover Hop for Distance erzielt (Gruppe 1: 96,10%; Gruppe 2: 88,42%).

#### **3.3.7.4 One-legged Vertical Jump**

Besonders ausgeprägt waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bei der Absolvierung des Vertikalen Einbeinsprungtests. Gruppe 1 wies hier einen Durchschnitts-LSI von 99,54% auf. Im Gegensatz dazu betrug der LSI in Gruppe 2 im Mittel nur 84,50%. Der LSI lag damit bei fast der Hälfte (42,3%) aller Patienten aus Gruppe 2 noch unter 85%. Der Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 war mit  $p < 0,001$  (Mann-Whitney-U-Test) signifikant.

#### **3.3.7.5 Square Hop**

Der Quadratsprungtest ist der einzige Sprungtest der ausgewählten Testbatterie, der keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,478$ ) zwischen den beiden Gruppen zeigen konnte. Hier erreichte Gruppe 1 im Durchschnitt einen LSI von 97,69% und Gruppe 2 von 90,87%.

### **3.3.8 Kraftmessung**

Um Kraftdefizite zu erfassen, wurde die maximale isometrische Kraft der Knieflexoren (Hamstrings, ischiocrurale Muskulatur) und –extensoren (M. quadriceps

femoris) ermittelt. Hierfür wurden folgende Übungen von den Patienten absolviert: Funktionsstemme, Beinstrecker und Beinbeuger.

In der 10. postoperativen Woche hatten die Patienten aus Gruppe 2 bei den Kraftmessungen im Durchschnitt einen LSI von 72,46% (47,57-89,74%). Die schlechtesten Ergebnisse wurden dabei beim Beinstrecker gemessen. Hier hatte Gruppe 2 im Mittel einen LSI von 57,63% (10,83-97,70%). Beim Beinbeuger erreichte Gruppe 2 einen Mittelwert von 78,51% (48,54-120,00%) und an der Funktionsstemme von 81,23% (50,78-102,66%).

Besser waren die Ergebnisse der Kraftmessungen während des Follow-ups (ca. 13,6 Monate nach der Kreuzbandrekonstruktion). Zu diesem Zeitpunkt erreichte Gruppe 2 im Durchschnitt einen LSI von 91,03% (72,16-112,95%). Auch hier wurden die größten Kraftdefizite am Beinstrecker gemessen (LSI=87,91%; zum Vergleich: Beinbeuger: LSI=91,25%, Funktionsstemme: LSI=93,93%).

Die LSI-Werte der Kraftmessungen (Funktionsstemme, Beinstrecker und Beinbeuger) sind in der Gruppe der Nichtoperierten (Gruppe 1) immer signifikant ( $p$  liegt zwischen 0,005 und  $<0,0001$ ; T-Test für unabhängige Stichproben) besser als in der Gruppe der Operierten (Gruppe 2). Die genauen Mittelwerte der einzelnen Kraftmessungen sowie die  $p$ -Werte können aus Tab. 7 entnommen werden.

*Tabelle 7: Mittelwerte der Kraftmessungen und T-Test bei unabhängigen Stichproben. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP) und Gruppe 2 (OP). Angegeben ist jeweils der Mittelwert der LSI-Werte in %.*

	Gruppe 1	Gruppe 2	p-Wert
<b>10. postoperative Woche</b>			
Funktionsstemme		81,23	$<0,001$
Beinbeuger		78,51	$<0,001$
Beinstrecker		57,63	$<0,001$
Durchschnitt		72,46	$<0,001$
<b>Follow-up</b>			
Funktionsstemme	99,98	93,93	0,005
Beinbeuger	97,64	91,25	$<0,001$
Beinstrecker	98,26	87,91	0,002
Durchschnitt	98,63	91,03	$<0,001$

Da auch das Verhältnis zwischen der Hamstrings- und der Quadricepsmuskelkraft eine Rolle zu spielen scheint [5], wurde das Hamstrings-Quadriceps-Verhältnis für beide Beine berechnet und dann die Differenz gebildet. Diese sollte nach Van

Grinsven et al. zur Wiederaufnahme des Sports unter 0,15 liegen [92]. In Gruppe 1 betrug die Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses im Durchschnitt 0,07 (0,00-0,31). Bei 88,9% war die Differenz kleiner als 0,15. In Gruppe 2 wurde im Mittel ein Wert von 0,08 (0,00-0,30) erreicht. 82,7% hatten hier eine Differenz von weniger als 0,15. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war damit nicht signifikant ( $p=0,663$ ; Mann-Whitney-U-Test).

### **3.4 Vergleich von Gruppe 2A (Semitendinosus) und Gruppe 2B (Hamstrings)**

#### **3.4.1 Return to sports**

Die Mehrheit der Patienten (84,6%; 44) betätigten sich vor ihrer Verletzung sportlich: In Gruppe 2A waren 82,1% (23) und in Gruppe 2B 87,5% (21) sportlich aktiv.

Das Level der sportlichen Aktivität wurde mit dem „Sports Frequency Score“ von Valderrabano et al. in fünf verschiedene Kategorien eingeteilt:

- keine sportliche Aktivität
- moderates Level sportlicher Aktivität; weniger als 1h/Woche
- normales Level sportlicher Aktivität, 1-5h/Woche
- hohes Level sportlicher Aktivität, mehr als 5h/Woche
- professionelles Level sportlicher Aktivität [96].

In Gruppe 2A trieben 64,3% mit mehr als 5h/Woche Sport auf einem hohen Level. Weitere 14,3% betätigten sich 1-5h/Woche sportlich. Auch Gruppe 2B war vor ihrer Verletzung sportlich sehr aktiv. Hier absolvierten 45,8% 1-5h/Woche Sport und 33,3% mehr als 5h/Woche. Die genauen Prozentangaben der einzelnen Kategorien sind für die beiden Gruppe in Abb. 19 dargestellt.



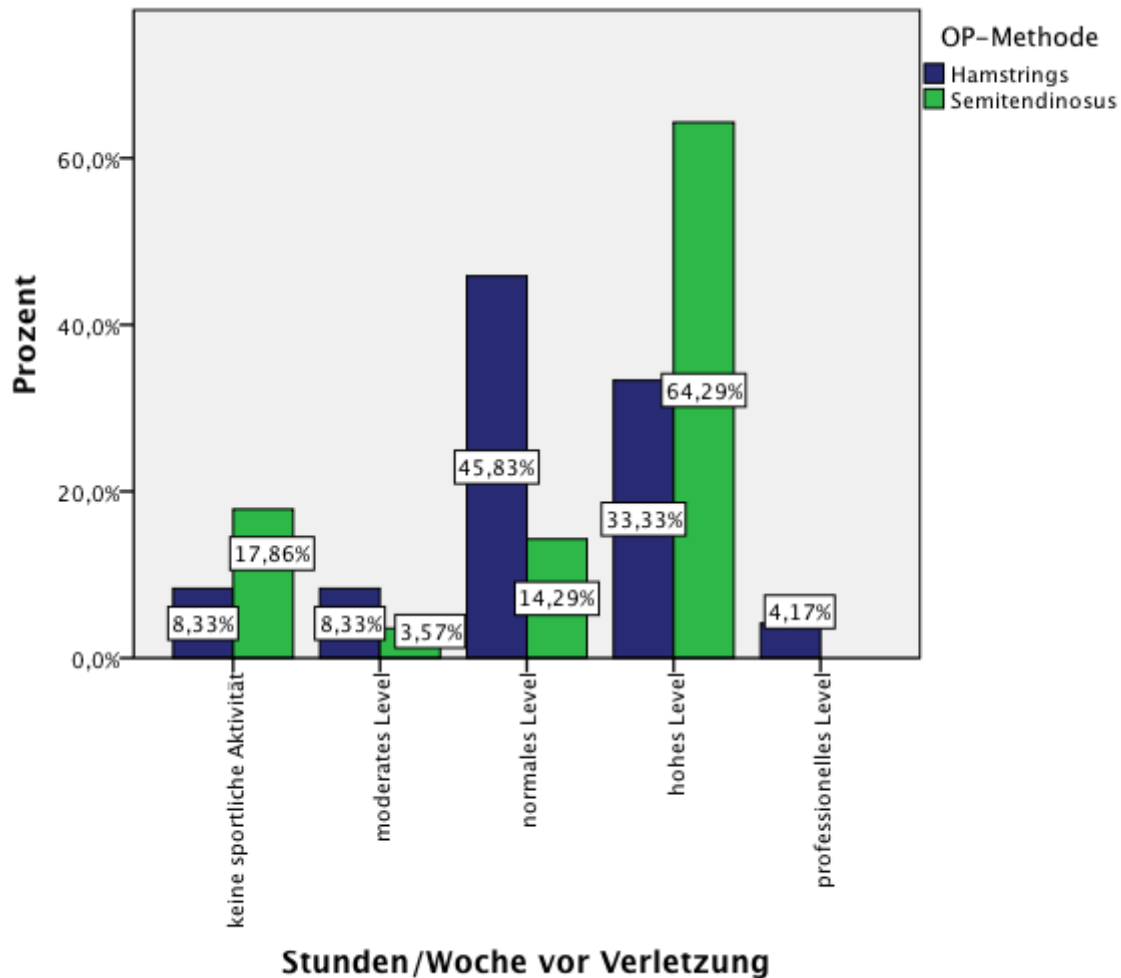


Abbildung 19: Level der sportlichen Aktivität. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

80% derer, die sich sportlich betätigten, betrieben „high risk pivoting“ Sportarten, wie z.B. Fußball, Handball, Basketball, Squash, Tennis und Ski alpin. 17,8% übten „low risk“ (z.B. Skilanglauf, Bergwandern, Joggen, Klettern, Volleyball und Aerobic) und 2,2% „no risk“ Sportarten, wie Schwimmen, aus (Abb. 20). Die Zuteilung erfolgte nach der Innsbruck Knee Sports Rating Scale (vgl. auch Kapitel „Statistische Aufbereitung des Datenmaterials“).

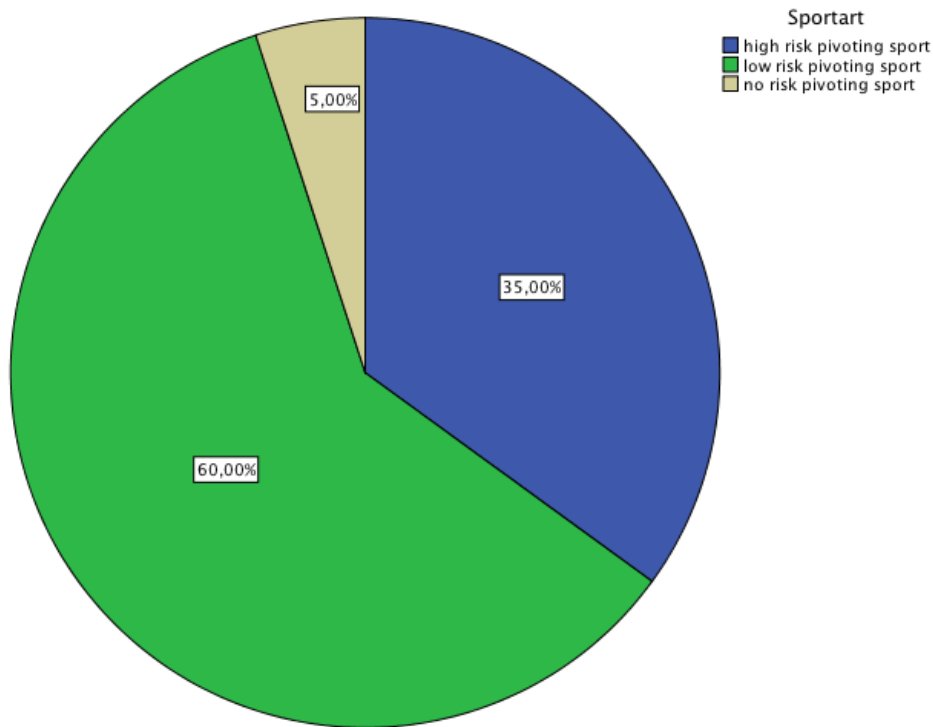


Abbildung 20: Sportarten, die von den Patienten aus Gruppe 2 (Operation, N=52) vor der Verletzung betrieben wurden. Einteilung nach der „Innsbruck Knee Sports Rating Scale“. Prozentangaben beziehen sich auf die gesamte Gruppe 2. 60% der Patienten betrieben vor ihrer Verletzung „high risk pivoting sport“.

Die große Mehrheit der Patienten nahm nach ihrer Kreuzbandrekonstruktion ihre sportliche Tätigkeit wieder auf:

In Gruppe 2A waren 75,0% (21) (vor der Verletzung 82,1% (23)) und in Gruppe 2B 79,2% (19) (vor der Verletzung 87,5% (21)) der Patienten wieder sportlich aktiv. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war mit  $p=0,729$  (t-Test für unabhängige Stichproben) nicht signifikant.

Es muss ergänzt werden, dass in Gruppe 2A nur 2 von den 7 Personen, die nach der Verletzung keinen Sport trieben und in Gruppe 2B nur 1 Person (von 5) das Knie als Grund für die mangelnde sportliche Aktivität nannten.

Gruppe 2A begann im Mittel nach 6,05 Monaten (1-13) wieder mit dem Sport und Gruppe 2B nach 7,74 Monaten (2-24) (nicht signifikant,  $p=0,592$ , Mann-Whitney-Test).

In beiden Gruppen hörten im Schnitt nach der Verletzung 2 Personen mit dem Sport auf (Gruppe 2A vorher 23, nachher 21; Gruppe 2B vorher 21, nachher 19).

Auch der Trainingsumfang wurde von den Patienten aus Gruppe 2A und 2B signifikant reduziert ( $p=0,001$ ; Wilcoxon-Test). In Gruppe 2A hatten vor der

Verletzung 64,3% (18) einen Trainingsumfang von mehr als 5 h/Woche und 14,3% 1-5 h/Woche, nach der Verletzung konnten nur noch 17,9% (5) wieder mehr als 5 h/Woche Sport treiben. 50% betätigten sich nach der Verletzung 1-5 h/Woche sportlich. In Gruppe 2B trieben vor der Verletzung 45,8% 1-5 h/Woche und 37,5% mehr als 5 h/Woche Sport. Nach der Verletzung weiterhin 45,8% 1-5 h/Woche, aber nur noch 25,0% (6) mehr als 5 h/Woche.

Zudem nahmen nach der Verletzung nicht mehr so viele Patienten an Wettkämpfen teil. In Gruppe 2A beteiligten sich vor der Verletzung 69,6% an Wettkämpfen. Nach der Verletzung war in dieser Gruppe kein einziger mehr im Wettkampfsport aktiv. In Gruppe 2B waren nach der Verletzung noch 31,6% (vorher 57,1%) aktiv. Dieser Unterschied ist mit  $p=0,007$  signifikant (Mann-Whitney-U-Test) (Abb. 21).

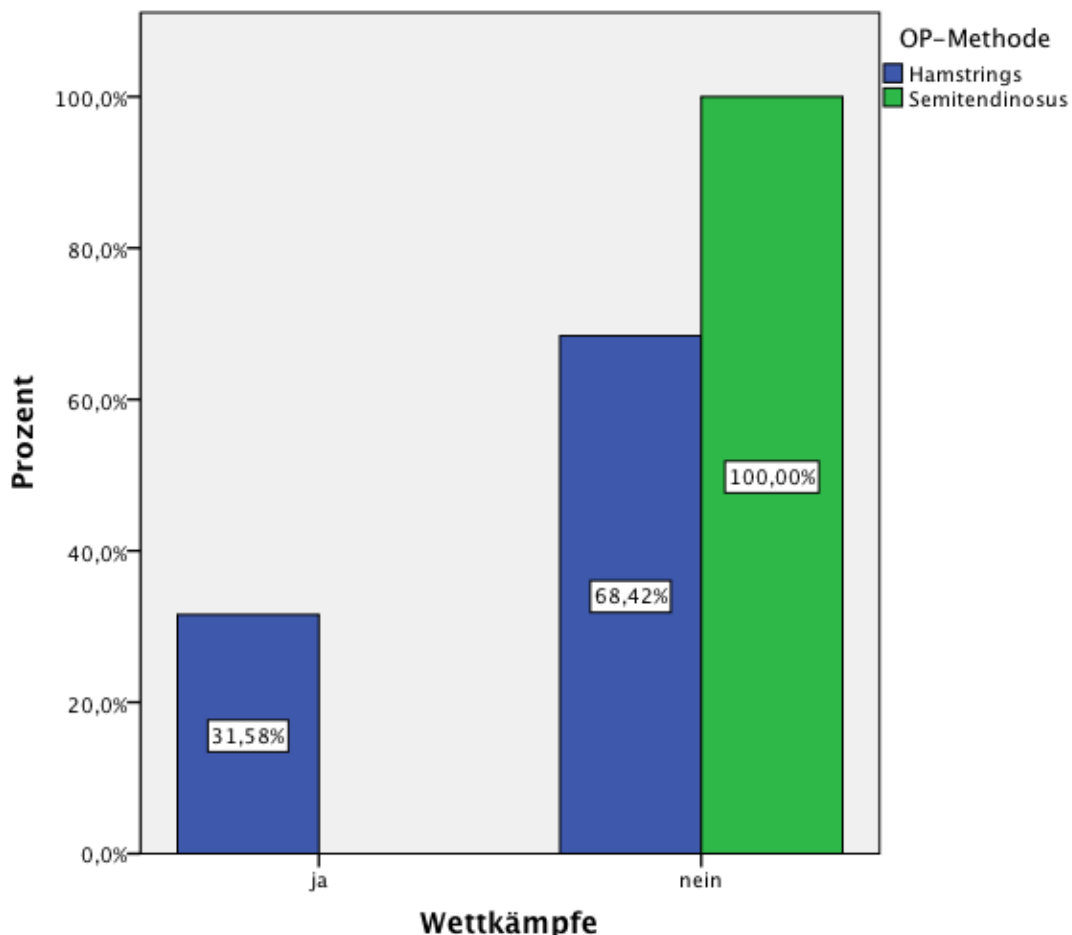


Abbildung 21: Wettkampfsport nach der Verletzung. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). In Gruppe 2B nehmen nach der Verletzung signifikant ( $p<0,01$ ) mehr Patienten an Wettkämpfen teil. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

In Gruppe 2A haben mit 82,1% (23) die große Mehrheit der Patienten Angst vor einer Reruptur. Nur 5 Patienten geben in dieser Gruppe an, keine Angst vor einer Reruptur zu haben. Im Gegensatz dazu geben in Gruppe 2B mit 45,8% weniger als die Hälfte der Patienten an, Angst vor einer Reruptur zu haben. Dieser Unterschied ist mit  $p=0,007$  signifikant (Mann-Whitney-U-Test) (Abb. 22).

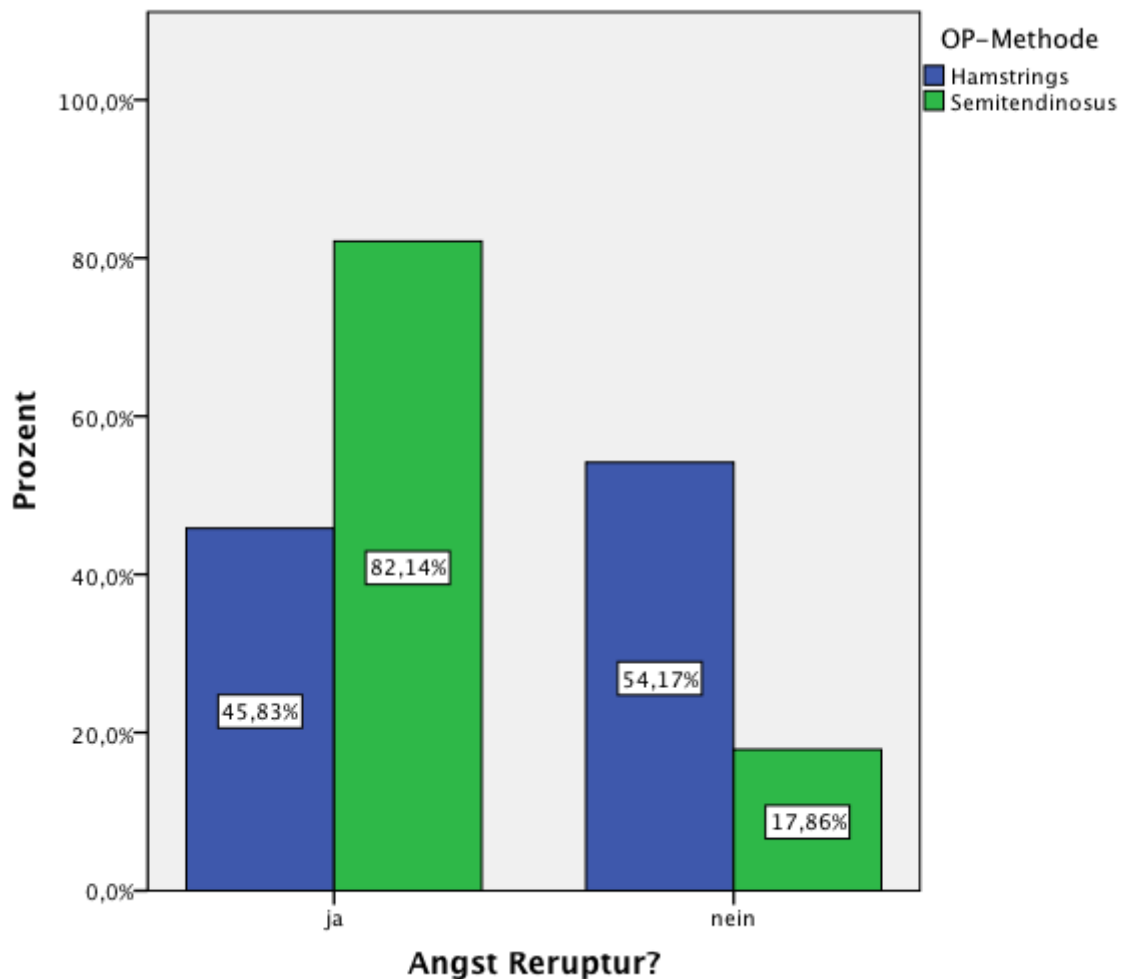


Abbildung 22: Angabe der Patienten, ob sie Angst vor einer Reruptur haben. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). In Gruppe 2A haben signifikant ( $p<0,01$ ) mehr Patienten Angst vor einer Reruptur. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

### 3.4.2 Subjektive Beurteilung des Aktivitätslevels und des Knies

Beim Vergleich der beiden Gruppen wurde auch die subjektive Beurteilung des Aktivitätslevels und des Knies berücksichtigt.

In Gruppe 2A beurteilten 100% ihren Aktivitätsgrad vor der Verletzung als „normal“, nach der Verletzung nur noch 7,1%. Die Mehrheit (78,6%) schätze ihren Aktivitätsgrad als „fast normal“ und 14,3% als „abnormal“ ein. In Gruppe 2B wurde

von 95,8% der Aktivitätsgrad vor der Verletzung als „normal“ angesehen. Nach der Verletzung waren es noch 25%. 66,7% empfanden ihren Aktivitätsgrad als „fast normal“ und 8,3% als „abnormal“. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist damit nicht signifikant ( $p=0,098$ ; Mann-Whitney-U-Test) (Abb. 23).

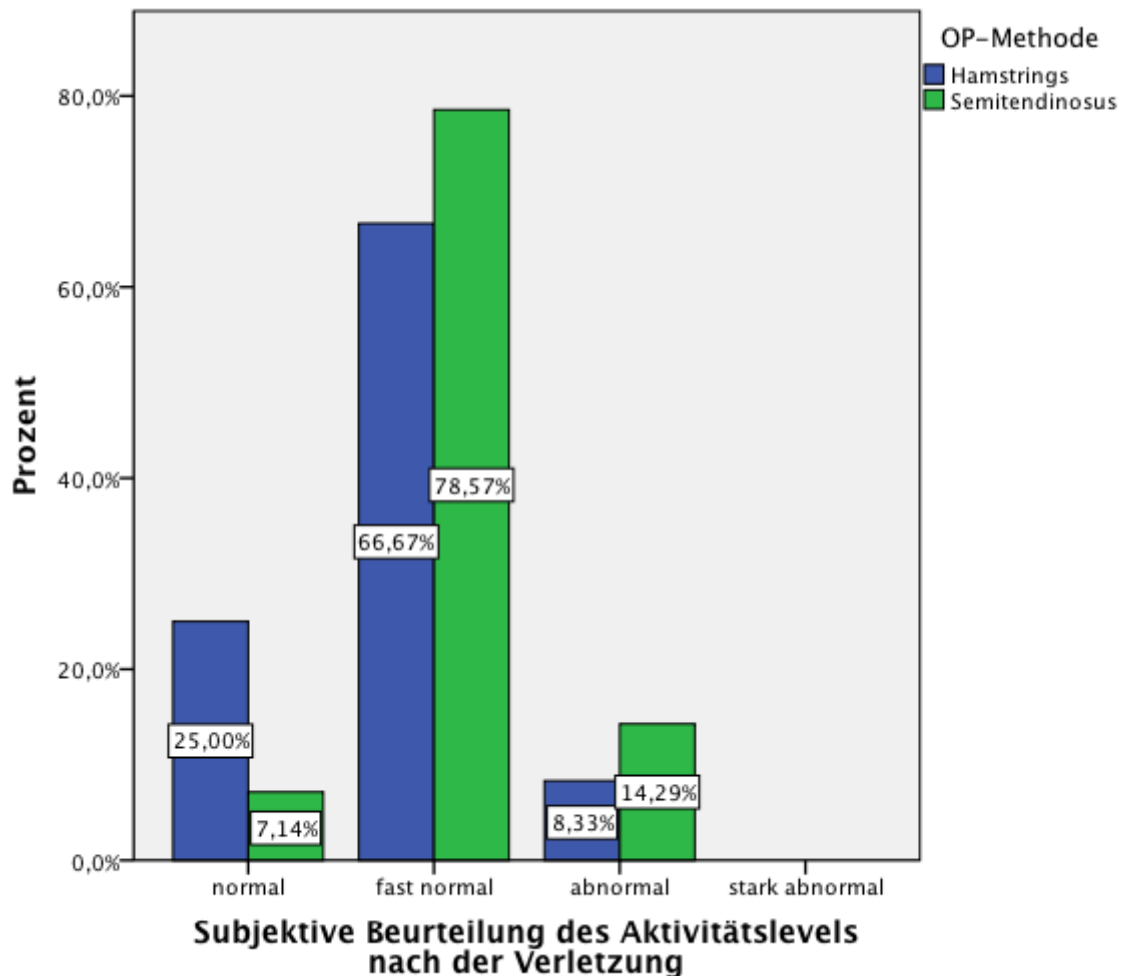


Abbildung 23: Subjektive Beurteilung des Aktivitätslevels nach der Verletzung. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus,  $N=28$ ) und Gruppe 2B (Hamstrings,  $N=24$ ). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist damit nicht signifikant.

Zudem wurde den Patienten die Frage gestellt, mit wie viel Prozent sie das operierte Knie beurteilen würden, wenn das gesunde Knie eine Funktion von 100% hat.

In Gruppe 2A wurde hier im Durchschnitt ein Wert von 79,54% angegeben. Der kleinste Wert war 50% und der größte Wert 100%. In Gruppe 2B lag der Mittelwert mit 85,58% (Minimum 65%, Maximum 100%) etwas höher. Der Unterschied ist mit  $p=0,07$  (T-Test für unabhängige Stichproben) aber nicht signifikant.

### **3.4.3 Umfangsmessung**

Die Patienten aus Gruppe 2A hatten im Durchschnitt eine Oberschenkelumfangsdifferenz von 1,23 cm (0-4,5 cm), während die Patienten aus Gruppe 2B im Schnitt eine Differenz von 1,00 cm (0-3 cm) aufwiesen. Dieser Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist mit  $p=0,568$  nicht signifikant (Mann-Whitney-U-Test).

### **3.4.4 KT-1000-Arthrometer**

Bei mehr als der Hälfte (57,1%) der Patienten aus Gruppe 2A war die mit dem KT-1000-Arthrometer gemessene Seitendifferenz kleiner oder gleich 1,5 mm. Bei je 6 Patienten (je 21,4%) betrug sie 2-2,5 mm bzw. war größer oder gleich 3 mm. Ähnliche Werte (kein signifikanter Unterschied;  $p=0,344$ ; Mann-Whitney-U-Test) ergab die Stabilitätsmessung bei den Patienten aus Gruppe 2B. Eine Seitendifferenz, die kleiner oder gleich 1,5 mm war, wurde bei 45,8% der Patienten festgestellt. Bei 20,8% (5) betrug sie zwischen 2-2,5 mm und bei 33,3% (8) größer oder gleich 3 mm (Abb. 24).

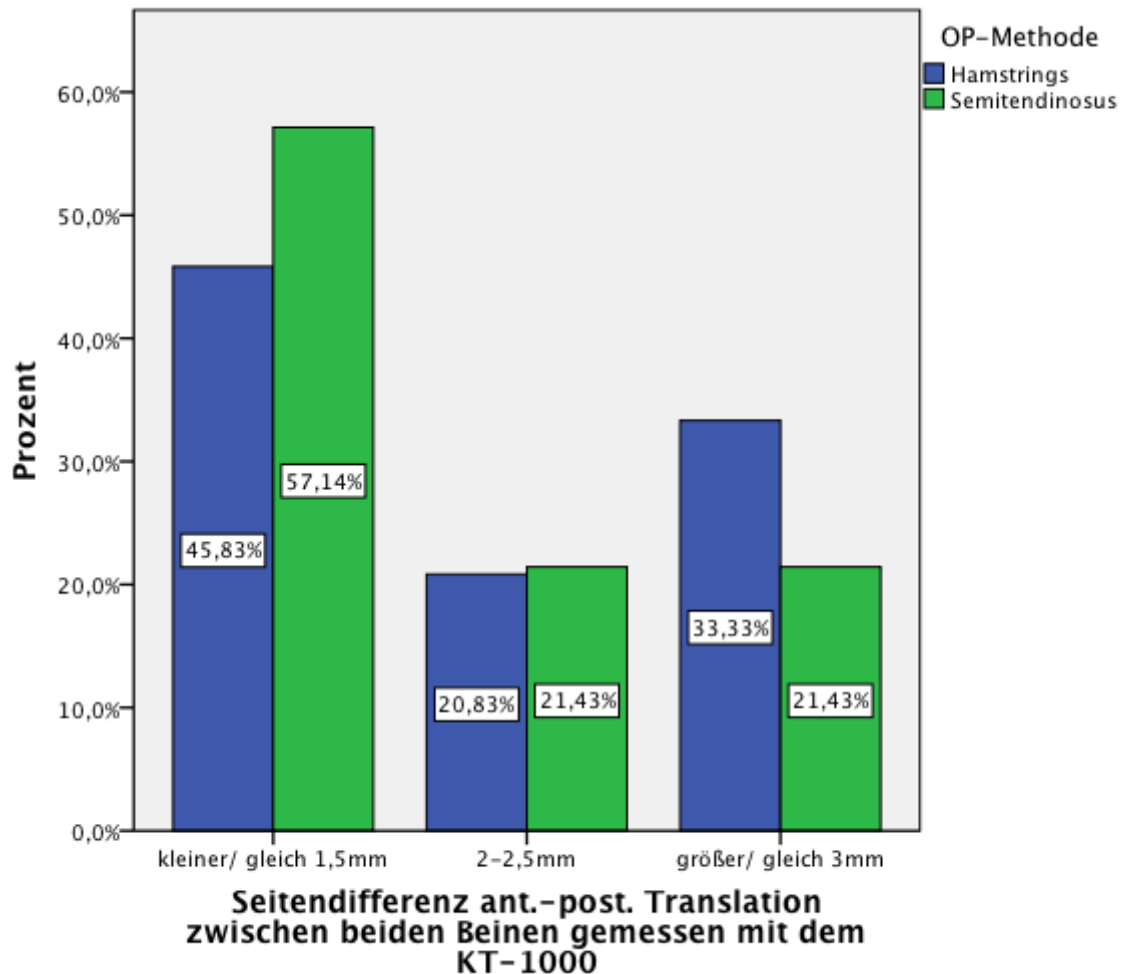


Abbildung 24: Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation zwischen beiden Beinen gemessen mit dem KT-1000. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

### 3.4.5 Bewegungsausmaß

Des Weiteren wurde wie beim Vergleich der Gruppen 1 und 2 auch beim Vergleich der Gruppe 2A gegen Gruppe 2B das Bewegungsausmaß des Kniegelenks beurteilt. In Gruppe 2A hatten 31,2% weder eine Streck- noch eine Beugehemmung, sodass das Bewegungsausmaß als uneingeschränkt bewertet wurde. In Gruppe 2B hatten mit 62,5% signifikant ( $p=0,03$ ; Mann-Whitney-U-Test) mehr Patienten uneingeschränktes Bewegungsausmaß.

### 3.4.6 Funktionsscores

In der vorliegenden Arbeit wurden zur Evaluation von Kniebandinstabilitäten drei verschiedene klinische Funktionsscores verwendet.

Bei der Auswertung der verschiedenen Funktionsscores ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test; OAK-Score:  $p=0,748$ ; Lysholm-Score:  $p=0,384$ ; IKDC-Score:  $p=0,166$ ).

Beim OAK-Score erreichte in Gruppe 2A die Mehrheit (53,6%) ein gutes Ergebnis (81-90 Punkte). 35,7% konnten mit mehr als 90 Punkten ein sehr gutes Ergebnis erzielen und nur 10,7% hatten mäßige Ergebnisse (71-80 Punkte).

In Gruppe 2B wiesen 45,8% ein sehr gutes Ergebnis auf. Bei 37,5% war das Resultat gut und bei 12,5% mäßig. Nur eine Person hatte weniger als 70 Punkte und damit ein schlechtes Ergebnis im OAK Score (Abb. 25).

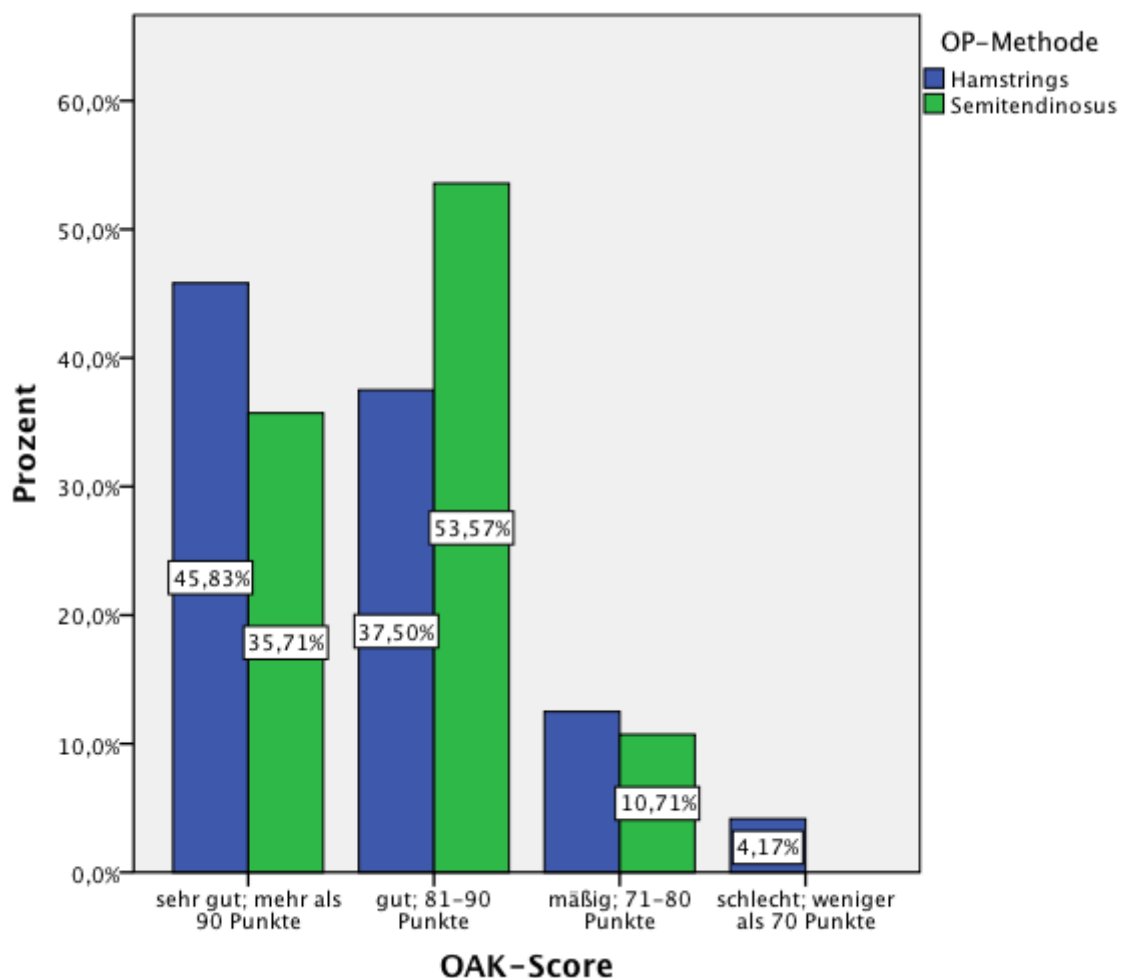


Abbildung 25: OAK-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus,  $N=28$ ) und Gruppe 2B (Hamstrings,  $N=24$ ). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

Beim Lysholm-Score wurden die Ergebnisse in vier Kategorien geteilt. Hier hatten in beiden Gruppen die Patienten bis auf wenige Ausnahmen (Gruppe 2A 3, Gruppe 2B 2) ausgezeichnete (90-100 Punkte) oder gute (89-80 Punkte) Ergebnisse (Abb. 26).



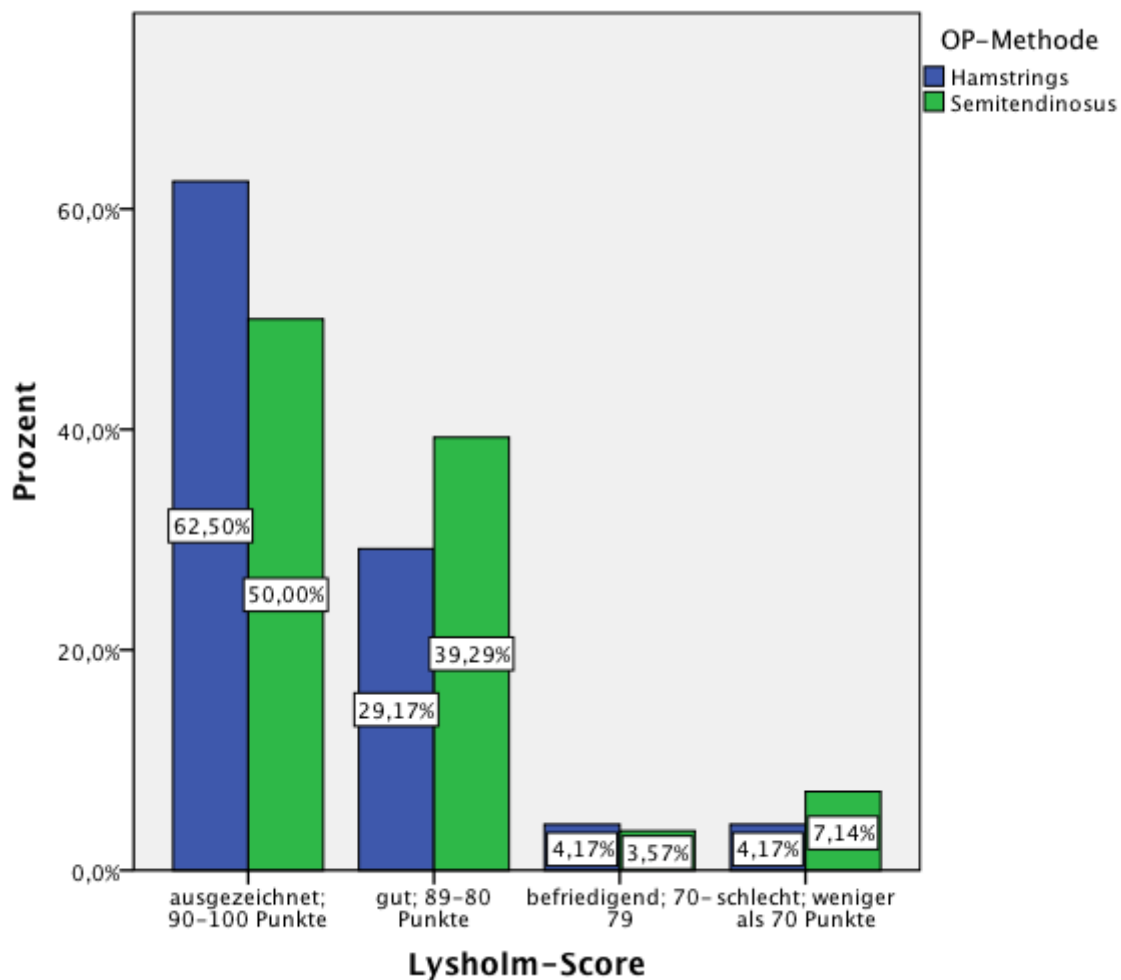


Abbildung 26: Lysholm-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

Etwas schlechter fielen die Ergebnisse beim IKDC-Score aus. Auch hier werden die Ergebnisse vier verschiedenen Kategorien zugeordnet. Bei diesem Score erreichten in Gruppe 2A nur 2 Personen und in Gruppe 2B keine Person Kategorie A (beste Kategorie dieses Scores). Der Großteil der Patienten erhielt hier in beiden Gruppen Kategorie B oder C (Abb. 27).

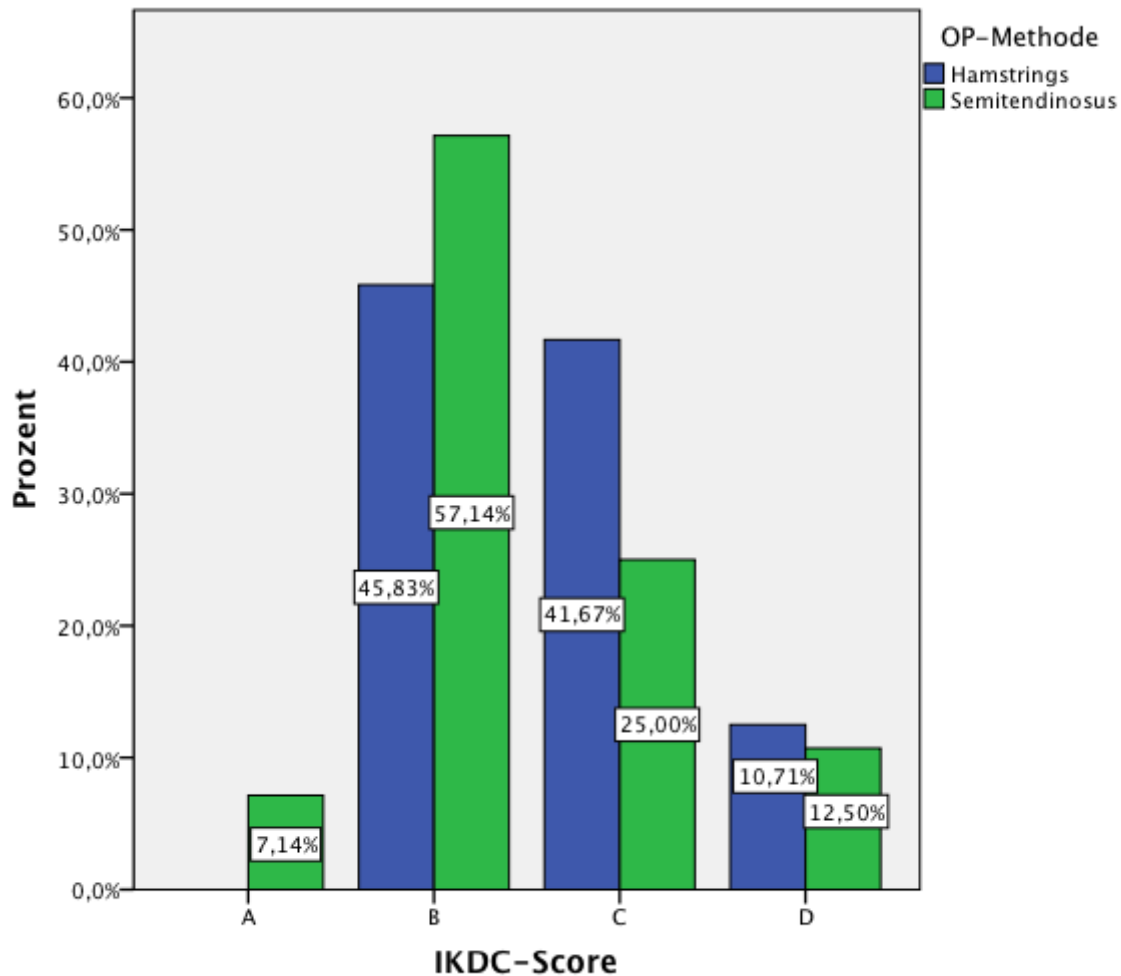


Abbildung 27: IKDC-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=28). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.

### 3.4.7 Einbeinkniebeuge

Als Maß für die Kraft der Abduktoren absolvierten alle Patienten eine Einbeinkniebeuge. In Gruppe 2A konnten 71,4% die Einbeinkniebeuge frei und 28,6% mit Mühe ausführen. Ähnlich (Unterschied zwischen Gruppe 2A und 2B nicht signifikant;  $p=0,327$ ; Mann-Whitney-U-Test) waren die Ergebnisse in Gruppe 2B. Hier konnte die Kniebeuge von 58,3% frei und 41,7% mit Mühe ausgeführt werden.

### 3.4.8 Drop-Vertical Jump Test

Um Athleten mit Bewegungsmustern, die ein erhöhtes Wiederverletzungsrisiko darstellen, zu identifizieren, wurde der bewährte Drop-Vertical Jump Test durchgeführt.

67,9% (19) der Patienten aus Gruppe 2A landeten bei diesem Test in einer neutralen Position, 32,1% (9) in Valgusstellung. Ähnlich (kein signifikanter Unterschied,

$p=0,575$ , Mann-Whitney-U-Test) waren die Ergebnisse in Gruppe 2B: Hier landeten 75% in Neutral- und 25% in Valgusstellung.

### **3.4.9 Sprungtests**

Zur Messung der funktionellen Stabilität absolvierten die Patienten eine eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests. Zu dieser Testbatterie gehörten ein Kraftschnelligkeitstest (6-Meter Timed Hop Test), drei Maximaltests (Single Hop for Distance, One-legged Vertical Jump Test, Crossover Hop for Distance) und ein Dauertest (Square Hop).

#### **3.4.9.1 6-Meter Timed Hop Test**

Beim 6-Meter Timed Hop Test erreichten die Patienten aus Gruppe 2A im Durchschnitt einen LSI von 87,73% (SD 22,23). Da eine Person den Test mit der verletzten Seite nicht durchführen konnte, war der kleinste LSI 0%. Das Maximum lag bei 126,03%. In Gruppe 2B wurde ein durchschnittlicher LSI von 92,50% (40,50-140,40%; SD 20,35) erreicht. Die Unterschiede zwischen beiden Gruppen waren damit nicht signifikant ( $p=0,3$ ; Mann-Whitney-U-Test).

#### **3.4.9.2 Single Hop for Distance**

Mit einem Durchschnitts-LSI von 85,22% (SD 18,71) unterschieden sich die Ergebnisse von Gruppe 2A beim Horizontalen Einbeinsprungtest nicht signifikant ( $p=0,137$ ; Mann-Whitney-U-Test) von denen der Gruppe 2B. Hier wurde ein Durchschnitts-LSI von 90,98% (SD 18,23) erreicht.

#### **3.4.9.3 Crossover Hop for Distance**

Ähnliche Ergebnisse (nicht signifikant;  $p= 0,081$ ; Mann-Whitney-U-Test) wurden von beiden Gruppen auch beim Crossover Hop for Distance erzielt (Gruppe 2A: 84,86%; Gruppe 2B 92,57%).

#### **3.4.9.4 One-legged Vertical Jump**

Beim Vertikalen Einbeinsprungtest erlangten die Patienten aus Gruppe 2A im Mittelwert einen LSI von 81,01% (SD 18,58). Die LSI-Werte reichten hier von 0% (Patient konnte den Test mit der verletzten Seite nicht durchführen) bis 102,81%. In Gruppe 2B wurde im Durchschnitt ein LSI von 88,56% (SD 18,08) ermittelt. Das Minimum lag in dieser Gruppe bei 32,57% und das Maximum bei 130,53%. Die erzielten Werte von Gruppe 2B waren mit  $p=0,047$  beim Mann-Whitney-U-Test signifikant besser als die von Gruppe 2A.

#### **3.4.9.5 Square Hop**

Nicht signifikant unterschiedlich ( $p=0,378$ ; Mann-Whitney-U-Test) waren die Ergebnisse beim Quadratsprungtest zwischen beiden Patientengruppen. Gruppe 2A erreichte hier einen Durchschnitts-LSI von 88,30% und Gruppe 2B von 93,86%.

#### **3.4.10 Kraftmessung**

Beide Gruppen absolvierten eine Kraftmessung, die zum einen in der 10. postoperativen Woche und zum anderen während des Follow-ups nach ca. 13 Monaten durchgeführt wurde. Die folgenden Auswertungen beziehen sich auf die Ergebnisse der Kraftmessung während des Follow-ups.

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gab es beim Vergleich der LSI-Werte der Beinstrecker. Hier erreichte Gruppe 2A einen Mittelwert von 84,36% (SD 12,77). Gruppe 2B hatte im Durchschnitt einen LSI von 92,06% (SD 13,50). Damit sind die LSI-Werte von Gruppe 2B beim Beinstrecker signifikant besser als die von Gruppe 2A ( $p=0,04$ ; T-Test für unabhängige Stichproben).

Zudem wurde der Durchschnitt der LSI-Werte der Ergebnisse der Kraftmessungen während des Follow-ups berechnet. Auch hier waren die Werte von Gruppe 2B mit  $p=0,016$  beim T-test für unabhängige Stichproben signifikant besser als die von Gruppe 2A. So erreichte Gruppe 2B im Durchschnitt einen LSI von 93,83%, während Gruppe 2A im Mittel einen LSI von 88,63% aufwies.

Auch bei allen anderen Kraftmessungen waren die Werte von Gruppe 2B besser (wenn auch nicht signifikant) als die von Gruppe 2A.

Des Weiteren wurde das Hamstrings-Quadriceps-Verhältnis für beide Beine berechnet und dann die Differenz gebildet. In Gruppe 2A betrug die Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses im Mittel bei 0,09 (0,01-0,30). Bei 78,6% war diese kleiner als 0,15. In Gruppe 2B lag die Differenz bei 0,06 (0,00-0,22). Hier war die Differenz bei 87,5% kleiner als 0,15. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist damit nicht signifikant ( $p=0,105$ ; Mann-Whitney-U-Test).

### **3.5 Korrelationen innerhalb der gesamten OP-Gruppe**

#### **3.5.1 Funktionsscores-Sprungtests**

Es gibt eine positive Korrelation zwischen den Ergebnissen der Funktionsscores und der Sprungtests. Das heißt, dass Patienten mit guten Ergebnissen bei den Funktionsscores auch bei den Sprungtests gute Resultate erzielten (In diesem Fall

entsprechen gute Ergebnisse einer geringen Differenz zwischen dem operierten und dem nicht operierten Bein und gehen somit mit einem hohen LSI-Wert einher).

Sowohl der OAK-Score als auch der IKDC-Score korrelieren mit den LSI-Werten von allen durchgeführten Sprungtests (6-Meter Timed Hop Test, Single Hop for Distance, Crossover triple Hop for Distance, One-legged Vertical Jump, Square Hop) auf einem Niveau von 0,01.

Der Lysholm-Score hingegen korreliert nur mit dem Quadratsprungtest (p-Wert  $\leq 0,01$ ).

### **3.5.2 Kraftmessungen-Sprungtests**

In der vorliegenden Studie konnte außerdem gezeigt werden, dass es eine positive Korrelation zwischen den Resultaten der Kraftmessung und der Sprungtests gibt. Hier scheint vor allem die Kraft der Beinstrecker relevant zu sein: Die LSI-Werte des Beinstreckers korrelieren mit den LSI-Werten aller durchgeführten Sprungtests signifikant auf einem Niveau von 0,01.

Der LSI-Wert der Funktionsstemme korreliert mit dem LSI-Wert des Single Hop for Distance signifikant auf einem Niveau von 0,05. Eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der Kraftmessungen der Beinbeuger und der Sprungtests konnte nicht nachgewiesen werden.

Eine signifikante positive Korrelation wurde zwischen dem Durchschnitt der LSI-Werte der Kraftmessungen (Funktionsstemme, Beinbeuger und Beinstrecker) und den LSI-Werten aller durchgeführten Sprungtests festgestellt. Diese Korrelation ist auf einem Niveau von 0,01 signifikant (Abb. 28).

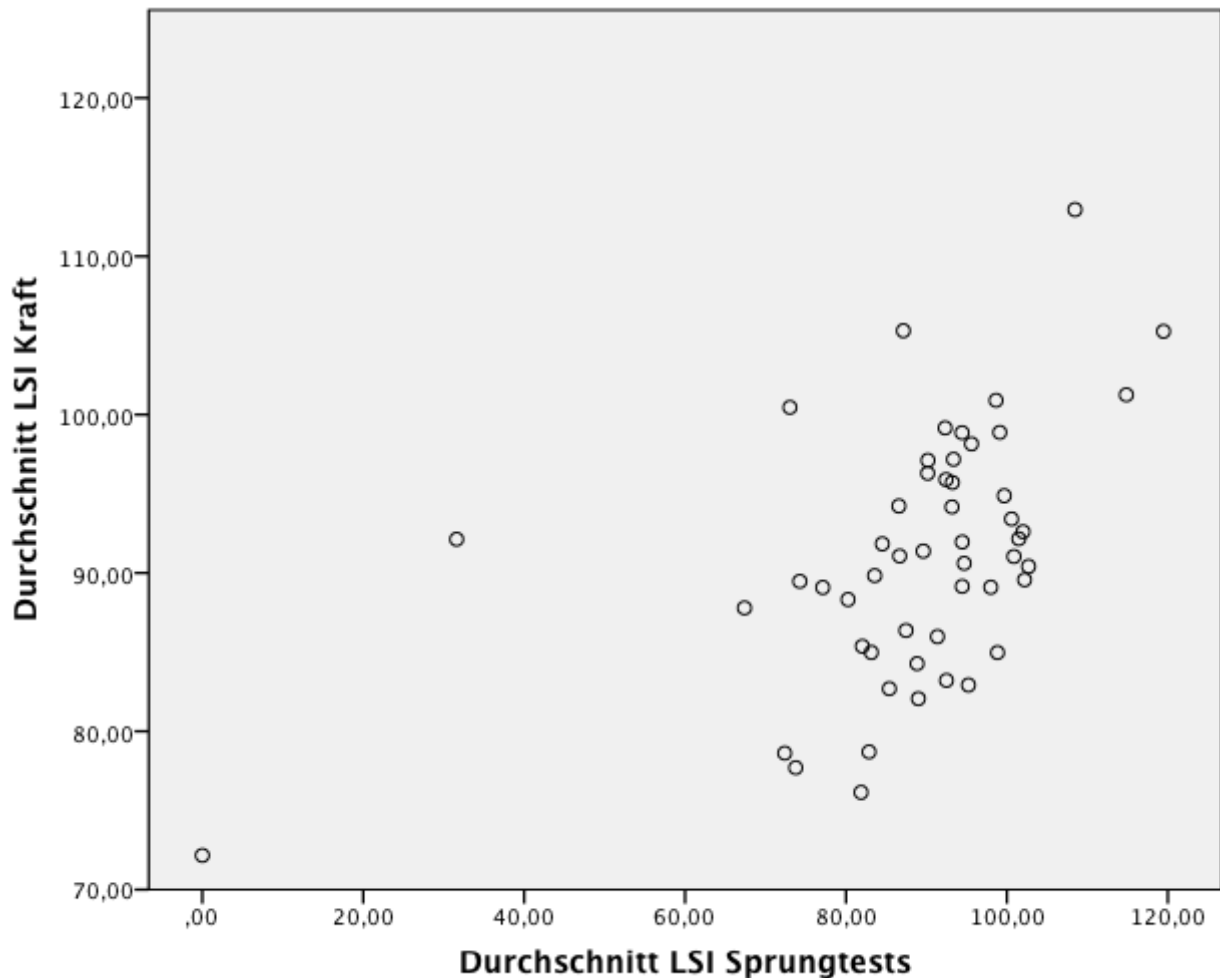


Abbildung 28: Korrelation Kraftmessung-Sprungtest. Dargestellt ist die positive Korrelation zwischen dem Durchschnitt der LSI-Werte der Kraftmessungen und denen der Sprungtests. Die Korrelation ist auf einem Niveau von 0,01 signifikant.

### 3.5.3 KT 1000-Sprungtests

Des Weiteren wurde überprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen der anterior-posterioren Translation des Knies, gemessen mit dem KT-1000, und den Resultaten der Sprungtests gibt. In diesem Fall konnte keine Korrelation nachgewiesen werden.

### 3.5.4 Funktionsscores-Kraftmessungen

Ferner konnte gezeigt werden, dass erfreuliche Ergebnisse bei den Funktionsscores gute Kraftwerte widerspiegeln, da es eine positive Korrelation zwischen den Funktionsscores und den Kraftmessungen gibt. Der OAK-Score korreliert mit den LSI-Werten der Beinstrecker und Beinbeuger auf einem Niveau von 0,05 sowie mit dem Durchschnitt der LSI-Werte der Kraftmessungen auf einem Niveau von 0,01. Zudem korreliert der IKDC-Score mit den LSI-Werten des Beinstreckers und dem Durchschnitt der LSI-Werte der Kraftmessungen ebenfalls signifikant mit  $p \leq 0,01$ .

### **3.5.5 Funktionscores-KT 1000**

Unter den überprüften Funktionsscores spiegelt nur der IKDC-Score auch die Stabilität des Knies, die mit dem KT-1000 gemessen wurde, wider. Hier konnte eine signifikante Korrelation auf einem Niveau von 0,05 nachgewiesen werden.

### **3.5.6 Kraftmessungen-KT 1000**

Keinen Zusammenhang gibt es zwischen der Kraftmessung und der KT-1000 Messung.

### **3.5.7 Sprungtests-Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität**

Der Durchschnitts-LSI der Sprungtests korreliert auf einem Niveau von 0,05 mit der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität.

## **3.6 1. Kraftmessung-2. Kraftmessung**

Die Ergebnisse der Kraftmessung während des Follow-ups sind sowohl bei Gruppe 2A als auch bei Gruppe 2B signifikant ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test bei zwei verbundenen Stichproben) besser als die Ergebnisse bei der Kraftmessung in der 10. postoperativen Woche.

Des Weiteren wurde das Hamstrings-Quadriceps-Verhältnis der 10. postoperativen Woche mit dem Verhältnis während des Follow-ups verglichen.

In der 10. postoperativen Woche betrug die Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses bei Gruppe 2A im Durchschnitt 0,32 (0,01-1,43). Ungefähr bei der Hälfte der Patienten dieser Gruppe (51,9%) ergab die Differenz damit einen Wert unter 0,15. Gruppe 2B hatte in der 10. postoperativen Woche im Mittel eine Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses von 0,62 (0,02-2,96). 36,4% wiesen damit eine Differenz unter 0,15 auf. Während des Follow-ups war die Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses bei beiden Gruppen signifikant ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test bei zwei verbundenen Stichproben) kleiner. In Gruppe 2A lag die Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses hier im Mittel bei 0,09 (0,01-0,30). Bei 78,6% war diese kleiner als 0,15. In Gruppe 2B betrug sie während des Follow-ups 0,06 (0,00-0,22). Hier war die Differenz bei 87,5% kleiner als 0,15 (Tab. 8).

*Tabelle 8: Vergleich der Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses (H-Q-V) zwischen der 10. Postoperativen Woche und des Follow-ups. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=28). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.*

	Follow-up		10. postoperative Woche		
	Differenz H-Q-V	Differenz <0,15 (in %)	Differenz H-Q-V	Differenz <0,15 (in %)	p-Wert
<b>Gruppe 2A</b>	0,09	78,6	0,32	51,9	<0,001
<b>Gruppe 2B</b>	0,06	87,5	0,62	36,4	<0,001



## **4 Diskussion**

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien über chirurgische Techniken und Fixationsmethoden des Kreuzbandersatzes publiziert, sodass es auf diesem Feld viele neue Erkenntnisse und Fortschritte gibt. Obwohl der Erfolg einer Kreuzbandrekonstruktion nicht zuletzt durch die Fähigkeit zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität gemessen wird, bestehen immer noch Uneinigkeiten über die Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach einer Kreuzbandrekonstruktion.

Die große Mehrheit der in der vorliegenden Studie untersuchten Patienten konnte nach ihrer Kreuzbandrekonstruktion wieder Sport treiben. Der Großteil der Patienten nahm 6-7 Monate nach der Kreuzbandoperation den Sport wieder auf. In Gruppe 2A lag die „return to sports-Rate“ bei 75% und in Gruppe 2B bei 79,2%, wobei der Trainingsumfang in beiden Gruppen signifikant ( $p=0,001$ ) abgenommen hatte. Zurück in den Wettkampfsport kehrte in Gruppe 2A kein einziger. In Gruppe 2B nahmen 31,6% auch wieder an Wettkämpfen teil.

Diese Quoten sind mit denen, die in der Literatur angegebenen werden, vergleichbar (Tab. 9).

Tabelle 9: Vergleich der Return to sports- und Return to competition-Rate mit der Literatur.

Studie	Return to sports-Rate	Return to competition-Rate
[5]	82% Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität 63% kehren zu ihrem präoperativen Level zurück	44% Wiederaufnahme der Wettkampfaktivität
[97]	82% Wiederaufnahme des alten Sportlevels	
[98]	68,8% Wiederaufnahme des alten Sportlevels	
[1]		Weniger als 50% sind 3,5 Jahre nach der Verletzung noch im Wettkampfsport aktiv
[99]	87% Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität 50% kehren zu ihrem präoperativen Level zurück	18% Wiederaufnahme der Wettkampfaktivität

#### 4.1 Eignet sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion?

Neben der Operation selbst ist auch die postoperative Rehabilitation für den Erfolg einer Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes von großer Bedeutung [40]. Alle in der vorliegenden Arbeit nachuntersuchten Patienten hatten ihre Rehabilitation im Rehabilitationszentrum der Universitätsmedizin Greifswald erhalten. Das dort durchgeführte Konzept gliedert sich in 5 Phasen und wurde bereits näher erläutert. In der 10. postoperativen Woche ist die Rehabilitation so gut wie abgeschlossen, und die Wiedereingliederung in den Beruf beginnt. Die Analysen konnten allerdings zeigen, dass zu diesem Zeitpunkt noch große Defizite in Kraft und Funktion bestehen. Bei der in der 10. postoperativen Woche nach Kreuzbandrekonstruktion

durchgeführten Kraftmessung wiesen die Patienten (Gruppe 2) im Durchschnitt einen LSI von 72,46% (47,57-89,74%) auf. Damit lag der LSI bei einem Großteil der Patienten (85,7%) noch unter 85% und wird daher als abnormal gewertet. Besonders groß waren die Defizite der Beinstrecker. Hier hatte das operierte Bein im Durchschnitt nur gut die Hälfte der Kraft des nicht operierten Beines (LSI=57,63%). Nur 5 Patienten aus Gruppe 2 wiesen in der 10. postoperativen Woche bei den Beinstreckern einen normalen LSI (d.h. >85%) auf.

Es ist davon auszugehen, dass durch die eingeschränkte Mobilität und Belastbarkeit während der Rehabilitation nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes auch die Kraftwerte der unverletzten Seite abnehmen [100] und somit die Kraftwerte zum Normalbefund noch schlechter sind.

Die Tatsache, dass die Kniegelenkstrecker deutlich stärker von einer postoperativen Abschwächung betroffen sind als die Kniegelenkbeuger, konnten auch schon Freiwald et al. in ihrer Studie zeigen. Sie erklären die vergleichsweise geringen postoperativen Abschwächungen der Kniegelenkextensoren durch reflexhafte Regelkreisläufe, die die synergistische Muskulatur des vorderen Kreuzbandes beeinflussen [101].

Mattacola et al. berichteten, dass Kraftdefizite der Beine bis zu 24 Monate nach einer Plastik des vorderen Kreuzbandes bestehen [102]. Ähnliche Ergebnisse konnten auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden.

Zum Zeitpunkt des Follow-ups, das im Durchschnitt 13,6 Monate nach der Kreuzbandrekonstruktion durchgeführt wurde, wiesen die Patienten im Mittel einen LSI von 91,03% bei den Kraftmessungen auf. Damit besaßen immer noch 23,1% einen abnormalen LSI. Auch hier waren die Defizite beim Beinstrecker wieder am stärksten ausgeprägt (LSI=87,91%). Im Vergleich dazu waren die Ergebnisse beim Beinbeuger mit einem LSI von 91,25% und bei der Funktionsstemme mit einem LSI von 93,93% deutlich besser.

Insgesamt waren die Resultate der Kraftwerte während des Follow-ups zwar signifikant ( $p < 0,001$ ) besser als die in der 10. postoperativen Woche, dennoch wurden die Kraftwerte der gesunden (d.h. ohne bekannte Knieverletzungen) Kontrollgruppe (Gruppe 1) nicht erreicht. Die Patienten aus Gruppe 1 erzielten bei den Kraftmessungen im Durchschnitt einen LSI-Wert von 98,63%. Hier wies nur eine einzige Person einen abnormalen LSI auf. Die Ergebnisse der Kraftmessungen von Gruppe 1 sind damit signifikant ( $p < 0,001$ ) besser als die Kraftwerte von Gruppe 2.

Dass Gruppe 2 zum Zeitpunkt des Follow-ups noch Kraftdefizite aufweist, zeigt auch die immer noch vorhandene Oberschenkelumfangsdifferenz zwischen beiden Beinen. Sie lag zum Zeitpunkt des Follow-ups im Durchschnitt bei 1,13 cm. Eine signifikante Korrelation zwischen einem geringen Oberschenkelumfang und einer verminderten Muskelkraft der Beinmuskulatur nach Kreuzbandrekonstruktion konnten Arangio et al. bereits für das nicht operierte Bein nachweisen [103].

Petersen et al. zeigten, dass Kraftdefizite noch bis zu 5 Jahre nach einer Kreuzbandrekonstruktion zu beobachten sind [51].

Ob nach einer Kreuzbandoperation jemals wieder die alten Kraftwerte bzw. die Kraftwerte der Kontrollgruppe erreicht werden, bleibt offen. Um dies bewerten zu können, müssten weitere Kontrollmessungen zu späteren Zeitpunkten erfolgen.

Bei der Beurteilung der Kraftwerte sind starke interindividuelle Schwankungen deutlich geworden. Dass mit einer hohen interindividuellen Varianz bei den Kraftwerten der Kniestrecker und –beuger zu rechnen ist, zeigten auch schon Vavken et al. [43]. Besonders deutlich wird dies beispielsweise bei Betrachtung der Kraftwerte der Beinstrecker in der 10. postoperativen Woche. Die LSI-Werte schwanken hier innerhalb der Gruppe 2 von 10,83-97,70%. Diese Tatsache verdeutlicht, dass die Entscheidung zur Wiederaufnahme des Sports in jeden Fall individuell getroffen werden sollte. Allein der zeitliche Abstand zur operativen Versorgung des Kreuzbandes, welcher nach Barber-Westin et al. das zur Zeit am häufigsten verwendete Entscheidungskriterium zur Wiederaufnahme des Sports ist, erweist sich daher als ungeeignet [3].

Es ist davon auszugehen, dass Patienten, die bereits in der 10. postoperativen Woche LSI-Werte der Kraftmessungen von über 85% aufweisen, früher wieder die sportliche Betätigung aufnehmen können als Patienten, die zu diesem Zeitpunkt nur einen LSI-Wert von 10% erreichen. Gesucht sind also Kriterien, die den individuellen Zustand des Patientenknies bestmöglich widerspiegeln, um so eine erfolgreiche Rückkehr in den Sport zu ermöglichen und Rerupturen durch eine zu frühe Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität zu vermeiden.

Neben den zum Teil stark ausgeprägten Kraftdefiziten weisen die Patienten aus Gruppe 2 zum Zeitpunkt des Follow-ups auch enorme funktionelle Defizite auf.

Dies wurde unter anderen bei der Auswertung des Sprungtests deutlich. Hier erreichte Gruppe 1 im Durchschnitt einen LSI von 97,31%. Es hatte nur eine einzige Person in dieser Gruppe einen abnormalen LSI bei den Sprungtests. Mit einem durchschnittlichen LSI von 88,31% waren die Ergebnisse von Gruppe 2 bei den Sprungtests im Durchschnitt signifikant ( $p < 0,001$ ) schlechter als die von Gruppe 1. Hier besaßen 28,8% der Patienten einen abnormalen LSI.

Besonders ausgeprägt waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bei der Absolvierung des vertikalen Einbeinsprungtests. Gruppe 1 wies hier einen Durchschnitts-LSI von 99,54% auf. Im Gegensatz dazu betrug der LSI in Gruppe 2 im Mittel nur 84,50%. Der LSI lag damit bei fast der Hälfte (42,3%) aller Patienten aus Gruppe 2 noch unter 85%.

Sprungtests erfordern hohe koordinative Fähigkeiten und spiegeln die funktionelle Stabilität des Knies wider [28]. Bei den für die Testbatterie ausgewählten Sprungtests erreichten fast alle Patienten der Kontrollgruppe ein normales Ergebnis (d.h. der LSI lag im Durchschnitt über 85%). Bei nur einer einzigen Person lag der LSI mit 84,28% knapp unter 85% und wurde damit als abnormal bewertet. Die Tatsache, dass die Sprungtests von Kniegesunden erfüllt werden, kann als Grundvoraussetzung für die Eignung der Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes angesehen werden.

Zudem ist die ausgewählte Testbatterie von Sprungtests ein hinreichendes Kriterium, um zwischen einem kniegesunden Patienten (Gruppe 1) und einem Patienten nach Kreuzbandrekonstruktion (Gruppe 2) zu differenzieren. Die Ergebnisse der Sprungtests der beiden Patientengruppen unterscheiden sich signifikant voneinander.

In der vorliegenden Arbeit konnte außerdem gezeigt werden, dass die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests die Kraftwerte der Beinmuskeln sehr gut widerspiegelt. Es konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen den Resultaten der Kraftmessung und denen der Sprungtests nachgewiesen werden.

Eine Korrelation zwischen der Hamstring- und Quadricepsmuskelkraft und einbeinigen Sprungtests konnte auch schon in Veröffentlichungen von Pincivero et al., Wilk et al. oder Noyes et al. bestätigt werden [76, 79, 80].

Gegenteiliges behaupteten Ernst et al. in ihrer Veröffentlichung: Sie legten nahe, dass sich funktionelle Tests nicht dazu eignen, Quadriceps- oder

Hamstringkraftdefizite nachzuweisen. Aufgrund von Kompensationsmechanismen könnten bei funktionellen Tests trotz bestehender Kraftdefizite Normergebnisse resultieren. So könnten Defizite der Knieextensoren beispielsweise durch die Hüft- und Fußextensoren ausgeglichen werden [104].

Pincivero et al. zeigten in ihrer Arbeit, dass die Resultate einbeiniger Sprungtests vor allem mit der Hamstringmuskelkraft korrelieren [80]. Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse weisen auf eine signifikante Korrelation der LSI-Werte der Beinstrecker (Quadricepsmuskulatur) mit allen durchgeführten Sprungtests auf einem Niveau von 0,001 hin, wohingegen keine signifikante Korrelation zwischen den LSI-Werten der Beinbeuger und den Sprungtests beobachtet werden konnte. Von gleichen Ergebnissen wurde auch in der Veröffentlichung von Wilk et al. berichtet [79].

Da die ausgewählte Testbatterie von Sprungtests die Beinmuskelkraft sehr gut widerspiegelt und Patienten mit bestehenden Kraftdefiziten bereits mit Hilfe der Sprungtests identifiziert werden können, könnte auf die Kraftmessung im Entscheidungsprozess zur Wiederaufnahme des Sports verzichtet werden.

Des Weiteren wurde in der vorliegenden Arbeit eine Korrelation zwischen den Sprungtests und den klinischen Scores zur Erfassung von Kniegelenksinstabilitäten nachgewiesen. Damit wurde gezeigt, dass die ausgewählte Testbatterie von Sprungtests auch das klinische Outcome des Knies hinreichend widerspiegelt.

Da die einzelnen ausgewählten Sprungtests unterschiedliche koordinative Fähigkeiten fordern, eignet sich die ausgewählte Testbatterie zur Identifizierung von Patienten mit eingeschränkter funktioneller Stabilität besser als die Absolvierung eines einzelnen Sprungtests. Dass die Kombination von mehreren Einbeinsprungtests sensitiver als ein einziger Sprungtest ist, um Patienten mit abnormalen LSIs ausfindig zu machen, beschrieben bereits Fitzgerald et al. [78].

In der vorliegenden Arbeit wurde außerdem gezeigt, dass es eine signifikante Korrelation zwischen dem durchschnittlichen LSI-Wert der Sprungtests und der Wiederaufnahme des Sports gibt. Dies unterstützt die Hypothese, dass sich die ausgewählten Sporttests als Kriterium zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität eignen.

Die fehlende Korrelation zwischen den Ergebnissen der KT-1000-Messung und den Sprungtests zeigt, dass die passive Stabilität des Knies mit der ausgewählten Testbatterie von Sprungtests nicht beurteilt werden kann.

Daher kann auf ergänzende klinische Untersuchungen und instrumentelle Messungen wie die KT-1000 Messung nicht verzichtet werden.

Den Ergebnissen dieser Studie zu Folge eignet sich der Drop-Vertical Jump Test nicht als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion. Der Test konnte keinen signifikanten ( $p > 0,05$ ) Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 zeigen.

#### **4.2 Analyse des Vergleichs von Gruppe 2A (Semitendinosus) und 2B (Hamstrings)**

Die Transplantatwahl ist einer der zentralen Punkte der Kreuzbandrekonstruktion. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse nach einer Kreuzbandrekonstruktion mittels Semitendinosus- (Gruppe 2A) und Hamstringstransplantat (Semitendinosus- und Gracilissehne) (Gruppe 2B) verglichen. Zum Vergleich der beiden Gruppen werden die subjektive Beurteilung des Knies, instrumentelle Messungen mittels des KT-1000-Arthrometers, Funktionsscores sowie Kraftmessungen und eine eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests herangezogen.

Die Verwendung der Semitendinosussehne alleine oder in Kombination mit der Gracilissehne ist im Moment das am häufigsten verwendete Transplantat bei der Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes und stellt den aktuellen „Goldstandard“ dar [33, 105].

Die Semitendinosus- und Gracilissehne sind wichtig für die Flexion und Innenrotation des Knies [105]. Da ihre Funktion bei Entnahme schwer zu kompensieren ist, wird von einigen Autoren empfohlen, die Gracilissehne zu schonen, um so den Verlust der Muskelkraft zu minimieren [106].

Zu dieser Schlussfolgerung kamen auch Tashiro et al., da sie in einer Nachuntersuchung bei Verwendung der Semitendinosussehne in Kombination mit der Gracilissehne eine erheblich geringere Muskelkraft der Kniebeuger gemessen hatten als bei alleiniger Verwendung der Semitendinosussehne [107].

Dieser Sachverhalt konnte nicht nachvollzogen werden. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den LSI-Werten der Beinbeuger beider Gruppen.

Vergleichbare Ergebnisse stellten Gobbi et al. vor. Sie konnten ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Kraft der Kniegelenkflexoren bei zusätzlicher Entnahme der Gracilissehne messen [108].

In der vorliegenden Arbeit wiesen die mit einem Hamstringtransplantat versorgten Patienten tendenziell sogar bessere LSI-Werte der Beinbeuger auf als jene, die mit einem Semitendinosustransplantat versorgt wurden.

Eventuell ist dies durch einen stärkeren Reiz zur Hypertrophie des M. biceps femoris und M. semimembranosus (hierbei handelt es sich ebenfalls um Kniebeuger) zu erklären.

Die Tatsache, dass es nach Entnahme der Sehne des M. semitendinosus und M. gracilis zu einer kompensatorischen Hypertrophie des M. biceps femoris und des M. semimembranosus kommt, wurde bereits in Studien gezeigt [109].

Insgesamt waren die Ergebnisse der durchgeführten Kraftmessungen sowohl in der 10. postoperativen Woche als auch bei dem Follow-up, das im Durchschnitt 13,60 Monate nach der Operation stattfand, in der Gruppe, die mit einem Hamstringtransplantat (Semitendinosus- und Gracilissehne) versorgt wurde, tendenziell besser als in der Gruppe, in der die Semitendinosussehne als Transplantat verwendet wurde. Signifikant bessere Ergebnisse erzielte Gruppe 2B bei der Kraftmessung der Beinstrecker ( $p=0,04$ ) während des Follow-ups sowie bei Berechnung des Durchschnitts der drei Kraftmessungen (Beinstrecker, Beinbeuger, Funktionsstemme) ( $p=0,016$ ) beim Follow-up.

Ein Grund für die besseren Ergebnisse der Hamstringgruppe könnte allerdings auch sein, dass das Follow-up in dieser Gruppe im Durchschnitt nach 15,96 Monaten (6-41 Monate) stattfand, während es in der Semitendinosusgruppe im Mittel nach 11,57 Monaten (6-20 Monate) durchgeführt wurde. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass die Hamstringgruppe auch schon bei der Kraftmessung in der 10. postoperativen Woche bessere Ergebnisse (allerdings nicht signifikant) als die Semitendinosusgruppe aufwies.

Beim Vergleich der Kreuzbandrekonstruktion mittels Semitendinosus- und Hamstringtransplantat schnitt das Hamstringtransplantat nicht nur bei der Kraftmessung besser ab.



Aus der Hamstringgruppe nahmen auch signifikant ( $p=0,007$ ) mehr Patienten den Wettkampfsport wieder auf. Von 19 Patienten die nach der Verletzung wieder sportlich aktiv waren, beteiligten sich 6 Patienten (31,6%) wieder an Wettkämpfen. In der Semitendinosusgruppe ging keiner der 21 wieder sportlich aktiven Patienten zurück in den Wettkampfsport.

Eine Studie von Ardern et al. berichtet, dass 33% 12 Monate nach ihrer Kreuzbandrekonstruktion den Wettkampfsport wieder aufgenommen hatten [110]. Dies entspricht in etwa der in dieser Studie ermittelten Rate der Hamstringgruppe.

Auch das subjektive Stabilitätsgefühl des Knies ist in Gruppe 2B besser als in Gruppe 2A. So haben in Gruppe 2B signifikant ( $p=0,007$ ) weniger Patienten Angst vor einer Reruptur.

Die Angst vor einer Reruptur könnte auch einer der Gründe für die niedrige „return-to-competitive-sport Rate“ bei Gruppe 2A sein. Dieser Gedanke wird auch durch die Arbeit von Kvist et al. unterstützt. Sie zeigten bereits einen Zusammenhang zwischen der Angst vor einer Reruptur und der Wiederaufnahme des alten Sportlevels nach einer Kreuzbandrekonstruktion [111].

Neben dem bereits Genannten wies Gruppe 2B auch beim Vertikalen Einbeinsprungtest signifikant ( $p=0,047$ ) bessere Ergebnisse als Gruppe 2A auf. Gruppe 2B erreichte hier im Durchschnitt einen LSI von 88,56%, während Gruppe 2A im Schnitt nur einen LSI von 81,01% aufwies.

Das erfolgreichere Abschneiden von Gruppe 2B beim Vertikalen Sprungtest ist wahrscheinlich durch die besseren Kraftwerte der Quadricepsmuskulatur zu erklären, da der LSI des Vertikalen Einbeinsprungtests auf einem Niveau von 0,001 mit dem LSI des Beinstreckers korreliert. Vergleichbare Ergebnisse konnten in vorherigen Arbeiten von Petschnig et al. bestätigt werden. Sie konnten ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen dem Vertical jump Test und der Quadricepsmuskulatur nachweisen [86]. Der Vertikale Einbeinsprungtest scheint demnach v.a. die Kraft der Kniegelenksextensoren widerzuspiegeln.

Des Weiteren wurde in der vorliegenden Studie herausgefunden, dass in Gruppe 2B signifikant ( $p<0,05$ ) mehr Patienten ein uneingeschränktes Bewegungsausmaß hatten als in Gruppe 2A. In Gruppe 2A hatten 31,2% weder eine Streck- noch eine Beugehemmung, sodass das Bewegungsausmaß als uneingeschränkt bewertet wurde. In Gruppe 2B hatten mit 62,5% fast doppelt so viele Patienten ein uneingeschränktes Bewegungsausmaß. Das eingeschränkte Bewegungsausmaß in

der Semitendinosusgruppe könnte auch die schlechteren LSI-Werte der Quadricepsmuskulatur erklären. Dieser Gedanke wird durch die Arbeit von Häggmark und Eriksson unterstützt. Sie konnten beim Vergleich von zwei Gruppen mit vierwöchiger Immobilisation oder früher Kniebewegung nach Kreuzbandrekonstruktion in der Gruppe der Immobilisierten ein Jahr nach der Operation noch Quadricepsatrophien feststellen [112].

Die Überlegung, dass das bessere Outcome der Patienten mit Hamstringtransplantat durch eine bessere Stabilität des Knies bei Verwendung beider Sehnen als Transplantat zu erklären ist, wurde wieder verworfen, da bei der KT-1000 Messung, bei der ant.-post. Translation des Knies gemessen wurde, kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden konnte. Die Überlegenheit der Hamstringgruppe gegenüber der Semitendinosusgruppe ist demzufolge nicht durch die Stabilität des Knies zu erklären.

Der Grund für die in der vorliegenden Studie festgestellte Überlegenheit von Gruppe 2B lässt sich in dieser Arbeit nicht abschließend klären, scheint aber muskuläre Gründe zu haben.

## 5 Zusammenfassung

Die Diskussion über die Rückkehr zum Sport nach vorderer Kreuzbandplastik wird in der Literatur aktuell kontrovers geführt. Der ideale Zeitpunkt und die Kriterien der Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes sind bis heute nicht eindeutig geklärt.

Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, ob sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium hierfür eignet.

Des Weiteren sollte das Outcome von Patienten nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes mittels Semitendinosus- und Hamstringtransplantat verglichen werden. Hierzu wurden insgesamt 97 Patienten untersucht. Die Studienteilnehmer wurden in zwei verschiedene Patientengruppen eingeteilt. In Gruppe 1 (n=45) wurden jene Patienten eingeteilt, die keine Knieverletzungen hatten. Es handelt sich hierbei um eine gesunde Kontrollgruppe. In Gruppe 2 (n=52) wurden alle Patienten erfasst, die nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes eine Kreuzbandrekonstruktion erhalten hatten. Innerhalb der zweiten Gruppe erfolgte je nach erhaltenem Transplantat noch eine Zuordnung in zwei Untergruppen: Gruppe 2A (n=28) wurden dabei jene Patienten zugeordnet, die ein Semitendinosustransplantat erhielten, während Gruppe 2B (n=24) aus Patienten mit Hamstringtransplantat gebildet wurde.

Die Patienten mit Kreuzbandrekonstruktion wurden im Rahmen der vorliegenden Studie das erste Mal in der 10. postoperativen Woche untersucht. Eine weitere Nachuntersuchung erfolgte nach einem mittlerem Follow-up von 13,6 Monaten (6-41 Monate) nach der Kreuzbandrekonstruktion.

Zum Vergleich der beiden Gruppen wurden subjektive Beurteilungen des Knies, instrumentelle Stabilitätsmessungen (KT-1000-Arthrometer), Funktionsscores sowie Kraftmessungen und eine eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests herangezogen.

Unsere anfängliche Hypothese, dass das Outcome bei Patienten nach Kreuzbandrekonstruktion mittels Hamstringtransplantat im Vergleich zum Semitendinosustransplantat schlechter ist, konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Die Hypothese entstand unter der Annahme, dass bei Schonung der Gracilissehne der Verlust der Muskelkraft der Knieflexoren geringer ist als bei

zusätzlicher Entnahme der Gracilissehne. Die Muskelkraft des M. gracilis scheint aber so gering zu sein, dass ein zusätzlicher Verlust dieser Muskelkraft nicht messbar war. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den LSI-Werten der Beinbeuger beider Gruppen. Tendenziell wies sogar Gruppe 2B mit einem Durchschnitts-LSI der Beinbeuger von 93,14% bessere Werte als Gruppe 2A (Durchschnitts-LSI=89,63%) auf.

Signifikant bessere Ergebnisse erzielte Gruppe 2B bei der Kraftmessung der Beinstrecker ( $p=0,04$ ) während des Follow-ups sowie bei Berechnung des Durchschnitts der drei Kraftmessungen (Beinstrecker, Beinbeuger, Funktionsstemme) ( $p=0,016$ ).

Beim Vergleich der Kreuzbandrekonstruktion mittels Semitendinosus- und Hamstringtransplantat schnitt das Hamstringtransplantat nicht nur bei der Kraftmessung besser ab. Weitere signifikante Unterschiede zwischen der Semitendinos- und der Hamstringgruppe gab es bei der „return-to-competition“-Rate, der Angst der Patienten vor einer Reruptur, den Ergebnissen des vertikalen Einbeinsprungtests sowie bei der Beurteilung des Bewegungsausmaßes des Kniegelenks. In all diesen Punkten konnte eine Überlegenheit des Hamstringtransplantats gegenüber dem Semitendinosustransplantat festgestellt werden. Die Gründe der Überlegenheit konnten in der vorliegenden Arbeit nicht abschließend geklärt werden und müssten durch weitere Untersuchungen überprüft werden. Da die Hamstringgruppe bei der Stabilitätsmessung mittels des KT-1000 Arthrometers jedoch keine besseren Ergebnisse aufweist, konnte eine bessere passive Stabilität des Kniegelenks als Grund für die Überlegenheit bereits ausgeschlossen werden.

Neben dem Vergleich der beiden Transplantatmöglichkeiten wurde in der vorliegenden Arbeit geprüft, ob sich die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion eignet.

Die Entscheidung zur Wiederaufnahme des Sports sollte aufgrund starker individueller Unterschiede in Kraft, Stabilität und Funktion des Patientenknies in jeden Fall individuell gestellt werden.

Allein der Abstand zur operativen Versorgung des Kreuzbandes, welches nach Barber-Westin et al. zur Zeit das am häufigsten verwendete Entscheidungskriterium zur Wiederaufnahme des Sports ist, erweist sich daher als ungeeignet [3].

Die eigens entwickelte Testbatterie von Sprungtests ist in der Lage zwischen einem Kniegesunden und einem Patienten nach Kreuzbandrekonstruktion zu differenzieren. Die Ergebnisse der Sprungtests dieser beiden Gruppen (Gruppe 1 versus Gruppe 2) unterscheiden sich signifikant voneinander.

Die Testbatterie von Sprungtests korreliert signifikant mit den Ergebnissen der Kraftmessungen, sodass im Entscheidungsprozess zur Wiederaufnahme des Sports auf die aufwendigen Kraftmessungen verzichtet werden könnte. Des Weiteren konnte eine Korrelation der Ergebnisse der Sprungtests zur „return-to-sports“-Rate nachgewiesen werden.

Der Drop-Vertical Jump Test eignet sich den Ergebnissen dieser Studie zu Folge nicht als Kriterium zur Wiederaufnahme des Sports nach Kreuzbandrekonstruktion. Der Test konnte keinen signifikanten ( $p > 0,05$ ) Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2 zeigen.

Eine Korrelation zur Stabilitätsmessung (KT-1000-Arthrometer) konnte nicht nachgewiesen werden, sodass im Entscheidungsprozess auf ergänzende klinische Untersuchungen und instrumentelle Messungen wie die KT-1000 Messung nicht verzichtet werden kann.

## **6 Abkürzungsverzeichnis**

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
ACL	Anterior cruciate ligament
Art.	Articulatio
Lig.	Ligamentum
LSI	Limb symmetry index
M.	Musculus
OP	Operation
ROM	range of motion
SD	Standardabweichung
sog.	sogenannt
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VKB	vorderes Kreuzband

## 7 Literaturverzeichnis

1. Kalberer, L., S. Meyer, and B. Gojanovic, *Einsatz eines neuen, multifaktoriellen "Return to Competition Score" für Athleten nach einer vorderen Kreuzbandruptur*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 2013. **62**(2): p. 31-34.
2. Jöllenbeck, T., et al., *Screening test for potential risk of acl rupture of female and male soccer players*. 2010.
3. Barber-Westin, S.D. and F.R. Noyes, *Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction*. Arthroscopy, 2011. **27**(12): p. 1697-1705.
4. Jöllenbeck, T. and T. Zantop, *Editorial*. Sports Orthopaedics and Traumatology, 2013. **29**(1): p. 1-2.
5. Engeroff, T., D. Niederer, and W. Banzer, *Zur Relevanz individueller funktionsdiagnostischer Erhebungen im Return-to-play-Prozess nach operativer Versorgung der VKB-Ruptur*. OUP - Orthopädische und Unfallchirurgische Zeitschrift, 2015. **4**(6): p. 301-307.
6. Hartmann, B., M. Spallek, and R. Ellegast, *Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation*. 2013, Heidelberg: Ecomed Medizin, Verl.-Gruppe Hüthig, Jehle.
7. Weninger, P., *Mein Knie - endlich wieder schmerzfrei: Meniskus, Kreuzband & Knorpel*. 2013: Maudrich Verlag.
8. Aumüller, G., et al., eds. *Duale Reihe: Anatomie*. 2. Aufl. ed. Hüfte, Oberschenkel und Knie, ed. L.J. Wurzing. 2010, Thieme: Stuttgart.
9. Kohn, D., ed. *Das Knie*. Anatomie, ed. B. Tillmann and W. Petersen. 2000, Thieme: Stuttgart.
10. Petersen, W., T. Zantop, and R. Becker, *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen*. 1. Aufl. ed. 2009, Köln: Deutscher Ärzte-Verl. XV, 250 S.
11. Schünke, M., et al., *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem 3., überarb. und erw. Aufl.* ed. Prometheus. 2011, Stuttgart: Thieme.
12. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Bandapparat des Kniegelenkes, ed. W. Petersen and T. Zantop. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
13. Schünke, M., *Topografie und Funktion des Bewegungssystems: Funktionelle Anatomie*. 2014: Thieme.
14. Petersen, W. and B. Tillmann, *Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes*. Der Orthopäde, 2002. **31**(8): p. 710-718.
15. von Lübken, F., et al., *Das neuromuskuläre Defizit nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 2008. **51**(1): p. 17-22.
16. Gardner, E., *The distribution and termination of nerves in the knee joint of the cat*. The Journal of Comparative Neurology, 1944. **80**(1): p. 11-32.
17. Schultz, R.A., et al., *Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study*. The Journal of Bone & Joint Surgery, 1984. **66**(7): p. 1072-1076.
18. Krudwig, W.K., *Situation der Arthroskopie in Deutschland*. Arthroscopie, 2000. **13**(4): p. 191-193.

19. Basler, E., *Ruptur des vorderen Kreuzbandes: operative oder konservative Behandlung? Bericht der Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich*. 2009.
20. Petersen, W., D. Rosenbaum, and M. Raschke, *Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten: Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2005. **56**(6): p. 150-156.
21. Myklebust, G., et al., *A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball*. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 1998. **8**(3): p. 149-153.
22. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Prävention von Rupturen des VKBs, ed. W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
23. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen, ed. W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
24. Olsen, O.E., et al., *Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis*. Am J Sports Med, 2004. **32**(4): p. 1002-1012.
25. Shelbourne, K.D., W.A. Facibene, and J.J. Hunt, *Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1997. **5**(4): p. 229-233.
26. Seil, R., et al., *Sports Injuries in Team Handball: A One-Year Prospective Study of Sixteen Men's Senior Teams of a Superior Nonprofessional Level*. Am J Sports Med, 1998. **26**(5): p. 681-687.
27. Borchers, J.R., A. Pedroza, and C. Kaeding, *Activity Level and Graft Type as Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Graft Failure: A Case-Control Study*. Am J Sports Med, 2009. **37**(12): p. 2362-2367.
28. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Diagnostik von Bandverletzungen, ed. W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
29. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Indikation zur operativen oder nicht operativen Therapie der Kreuzbandruptur, ed. W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
30. Bauer, G., et al., *Vorderes Kreuzband: OP-Indikation*. GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband, 2010: p. 53-58.
31. Fitzgerald, G.K., M.J. Axe, and L. Snyder-Mackler, *A decision-making scheme for returning patients to high-level activity with nonoperative treatment after anterior cruciate ligament rupture*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2000. **8**(2): p. 76-82.
32. Woo, S.L., et al., *Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex: The effects of specimen age and orientation*. Am J Sports Med, 1991. **19**(3): p. 217-225.
33. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Transplantatwahl, ed. H.O. Mayr, D. Willkomm, and W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
34. Mayr, H.O., T.G. Weig, and W. Plitz, *Arthrofibrosis following ACL reconstruction-reasons and outcome*. Arch Orthop Trauma Surg, 2004. **124**(8): p. 518-522.



35. Stark, J., *Two cases of ruptured crucial ligament of the knee-joint*. The Edinburgh Medical and Surgical, 1850. **5**: p. 267-271.
36. Battle, W., *A case after open section of the knee joint for irreducible traumatic dislocation*. Clin Soc London Trans, 1900. **33**: p. 232-233.
37. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Geschichtliche Entwicklung der Therapie von VKB-Läsionen, ed. T. Zantop. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
38. Eberhardt, C., et al., *Geschichte der Chirurgie des vorderen Kreuzbandes*. Der Orthopäde, 2002. **31**(8): p. 702-709.
39. Pschyrembel, W., *Pschyrembel: Klinisches Wörterbuch*. 259. Aufl. ed. 2002, Berlin: de Gruyter.
40. Engelhardt, M., J. Freiwald, and M. Rittmeister, *Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik*. Der Orthopäde, 2002. **31**(8): p. 791-798.
41. Petersen, W., et al., *Verletzungen des vorderen Kreuzbandes: Von der Prävention zur Therapie*. OUP - Orthopädische und Unfallchirurgische Zeitschrift, 2012. **1**(6): p. 232-243.
42. Schönle, C. and J. Grifka, *Praxiswissen: Halte- und Bewegungsorgane; Rehabilitation*. Funktionelle Nachbehandlung von operativ versorgten Rupturen des vorderen Kreuzbandes, ed. C. Schönle. 2004: Thieme.
43. Vavken, P., et al., *Nachbehandlungsschema und Return to Sports nach Kreuzbandplastik*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 2012. **60**(2): p. 83-87.
44. Ardern, C.L., et al., *Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play*. Br J Sports Med, 2011. **45**(7): p. 596-606.
45. Thomeé, R., et al., *Return to sports after Anterior Cruciate Ligament reconstruction in women*. Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology, 2013. **29**(1): p. 22-28.
46. Eitzen, I., I. Holm, and M.A. Risberg, *Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction*. British Journal of Sports Medicine, 2009. **43**(5): p. 371-376.
47. Thomeé, P., et al., *Self-efficacy of knee function as a pre-operative predictor of outcome 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008. **16**(2): p. 118-127.
48. Roos, H., et al., *Soccer after anterior cruciate ligament injury— an incompatible combination? A national survey of incidence and risk factors and a 7-year follow-up of 310 players*. Acta Orthopaedica, 1995. **66**(2): p. 107-112.
49. Petersen, W. and T. Zantop, *Return to play following ACL reconstruction: survey among experienced arthroscopic surgeons (AGA instructors)*. Arch Orthop Trauma Surg, 2013. **133**(7): p. 969-977.
50. Zantop, C., W. Petersen, and T. Zantop, *Return-to-play: Korrelation von funktioneller Stabilität und klinischen Ergebnis bei Sprungtest-Analysen 6 Monate nach VKB-Rekonstruktion*. 2013.
51. Petersen, W., et al., *Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2014. **134**(10): p. 1417-1428.
52. Raab-Steiner, E. and M. Benesch, *Der Fragebogen von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. 3. Aufl. ed. 2012, Wien: Facultas-Verl.
53. Aumüller, G., et al., eds. *Duale Reihe: Anatomie*. 2. Aufl. ed. Allgemeine Grundlagen, ed. W. Schmidt. 2010, Thieme: Stuttgart.

54. Porst, R., *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. 4., erw. Aufl. ed. Studienskripten zur Soziologie. 2014, Wiesbaden: Springer VS.
55. Leard, J.S., et al., *Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height*. J Strength Cond Res, 2007. **21**(4): p. 1296-1299.
56. Nuzzo, J.L., J.H. Anning, and J.M. Scharfenberg, *The reliability of three devices used for measuring vertical jump height*. J Strength Cond Res, 2011. **25**(9): p. 2580-2590.
57. Petersen, W. and T. Zantop, eds. *Das vordere Kreuzband Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Aufl. ed. Bewegungseinschränkungen und Arthrofibrose nach VKB-Ersatz, ed. W. Petersen. 2009, Deutscher Ärzte-Verlag: Köln.
58. Zantop, T., et al., *Vorderes Kreuzband: Diagnostik von VKB-Läsionen*. GOTS-Expertenmeeting: Vorderes Kreuzband, 2010: p. 33-52.
59. Benjaminse, A., A. Gokeler, and C.P. van der Schans, *Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis*. J Orthop Sports Phys Ther, 2006. **36**(5): p. 267-288.
60. Kim, S.J. and H.K. Kim, *Reliability of the anterior drawer test, the pivot shift test, and the Lachman test*. Clin Orthop Relat Res, 1995(317): p. 237-242.
61. Springorum, H.W., K. Braun, and A. Tauscher, *Knie*. Fachlexikon Orthopädie. 1999, Landsberg/Lech: ecomed.
62. Galway, H.R. and D.L. MacIntosh, *The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency*. Clin Orthop Relat Res, 1980(147): p. 45-50.
63. Kocher, M.S., et al., *Relationships Between Objective Assessment of Ligament Stability and Subjective Assessment of Symptoms and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*. Am J Sports Med, 2004. **32**(3): p. 629-634.
64. Cross, M.J., K.J. Crichton, and M. Mohing, *Untersuchung des verletzten Kniegelenks*. 1990, Stuttgart: Thieme.
65. Daniel, D.M., et al., *Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption*. Am J Sports Med, 1985. **13**(6): p. 401-407.
66. van Eck, C.F., et al., *Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis of instrumented knee laxity tests*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013. **21**(9): p. 1989-1997.
67. Steinbrück, K. and J.-C. Wiehmann, *Untersuchung des Kniegelenks: Wertigkeit klinischer Befunde unter arthroskopischer Kontrolle*. Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, 1988. **126**(3): p. 289-295.
68. Grifka, J., J. Richter, and M. Gumtau, *Klinische und sonographische Meniskusdiagnostik*. Orthopäde, 1994: p. 102-111.
69. Kohn, D., ed. *Das Knie*. Scoring-Systeme, ed. F. Adam. 2000, Thieme: Stuttgart.
70. Tilley, S. and N. Thomas, *Focus on: What knee scoring system?* 2010. p. 1-4.
71. Lysholm, J. and J. Gillquist, *Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale*. Am J Sports Med, 1982. **10**(3): p. 150-154.
72. Yamazaki, J., et al., *Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010. **18**(1): p. 56-63.
73. Crossley, K.M., et al., *Performance on the single-leg squat task indicates hip abductor muscle function*. Am J Sports Med, 2011. **39**(4): p. 866-873.

74. Noyes, F.R., et al., *The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes*. Am J Sports Med, 2005. **33**(2): p. 197-207.
75. Padua, D.A., et al., *The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL Study*. Am J Sports Med, 2009. **37**(10): p. 1996-2002.
76. Noyes, F.R., S.D. Barber, and R.E. Mangine, *Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture*. Am J Sports Med, 1991. **19**(5): p. 513-518.
77. Risberg, M.A. and A. Ekeland, *Assessment of Functional Tests After Anterior Cruciate Ligament Surgery*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 1994. **19**(4): p. 212-217.
78. Fitzgerald, G.K., et al., *Hop tests as predictors of dynamic knee stability*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 2001. **31**(10): p. 588-597.
79. Wilk, K.E., et al., *The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee*. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 1994. **20**(2): p. 60-73.
80. Pincivero, D.M., S.M. Lephart, and R.G. Karunakara, *Relation between open and closed kinematic chain assessment of knee strength and functional performance*. Clin J Sport Med, 1997. **7**(1): p. 11-16.
81. Barber-Westin, S.D., et al., *Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees*. Clin Orthop Relat Res, 1990(255): p. 204-214.
82. Reid, A., et al., *Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction*. Phys Ther, 2007. **87**(3): p. 337-349.
83. Logerstedt, D., et al., *Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study*. Am J Sports Med, 2012. **40**(10): p. 2348-2356.
84. Jang, S.H., et al., *Functional performance tests as indicators of returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee, 2014. **21**(1): p. 95-101.
85. Myer, G.D., et al., *Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction*. J Orthop Sports Phys Ther, 2011. **41**(6): p. 377-387.
86. Petschnig, R., R. Baron, and M. Albrecht, *The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction*. J Orthop Sports Phys Ther, 1998. **28**(1): p. 23-31.
87. Gustavsson, A., et al., *A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2006. **14**(8): p. 778-788.
88. Östenberg, A., et al., *Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players*. Scand J Med Sci Sports, 1998. **8**(5): p. 257-264.
89. Seto, J.L., et al., *Assessment of quadriceps/hamstring strength, knee ligament stability, functional and sports activity levels five years after anterior cruciate ligament reconstruction*. Am J Sports Med, 1988. **16**(2): p. 170-180.
90. Huston, L.J. and E.M. Wojtyś, *Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes*. Am J Sports Med, 1996. **24**(4): p. 427-436.

91. Barber-Westin, S.D. and F.R. Noyes, *Objective criteria for return to athletics after anterior cruciate ligament reconstruction and subsequent reinjury rates: a systematic review*. The Physician and Sportmedicine, 2011. **39**(3): p. 100-110.
92. van Grinsven, S., et al., *Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010. **18**(8): p. 1128-1144.
93. Banzer, W., K. Pfeifer, and L. Vogt, *Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin*. 2004, Berlin: Springer.
94. Neeter, C., et al., *Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2006. **14**(6): p. 571-580.
95. Fink, C., C. Hoser, and K.P. Benedetto, *Sports capacity after rupture of the anterior cruciate ligament: surgical versus non-surgical therapy*. Aktuelle Traumatologie, 1993. **23**(8): p. 371-375.
96. Valderrabano, V., et al., *Sports and recreation activity of ankle arthritis patients before and after total ankle replacement*. Am J Sports Med, 2006. **34**(6): p. 993-999.
97. Sajovic, M., et al., *The effect of graft choice on functional outcome in anterior cruciate ligament reconstruction*. International Orthopaedics, 2008. **32**(4): p. 473-478.
98. Almeida, A., et al., *Correlation between the result from arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee and the return to sports activity*. Revista Brasileira de Ortopedia, 2014. **49**(3): p. 240-244.
99. Aglietti, P., et al., *Patellar tendon versus doubled semitendinosus and gracilis tendons for anterior cruciate ligament reconstruction*. Am J Sports Med, 1994. **22**(2): p. 211-218.
100. Thomee, R., et al., *Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012. **20**(6): p. 1143-1151.
101. Freiwald, J., A. Jäger, and W. Thoma, *Isokinetische und isometrische Muskelfunktionsanalyse nach arthroskopisch durchgeführten vorderen Kreuzbandersatzplastiken*. Sportverletz Sportschaden, 1992. **6**(1): p. 6-13.
102. Mattacola, C.G., et al., *Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*. J Athl Train, 2002. **37**(3): p. 262-268.
103. Arangio, G.A., et al., *Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation*. J Orthop Sports Phys Ther, 1997. **26**(5): p. 238-243.
104. Ernst, G.P., et al., *Lower-Extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction*. Phys Ther, 2000. **80**(3): p. 251-260.
105. Gobbi, A., *Single Versus Double Hamstring Tendon Harvest for ACL Reconstruction*. Sports Med Arthrosc Rev, 2010. **18**(1): p. 15-19.
106. Segawa, H., et al., *Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon*. Arthroscopy, 2002. **18**(2): p. 177-182.
107. Tashiro, T., et al., *Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single-and double-tendon harvest*. Am J Sports Med, 2003. **31**(4): p. 522-529.
108. Gobbi, A., et al., *Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: Is it necessary to sacrifice the gracilis?* Arthroscopy, 2005. **21**(3): p. 275-280.

109. Williams, G.N., et al., *Muscle and tendon morphology after reconstruction of the anterior cruciate ligament with autologous semitendinosus-gracilis graft*. J Bone Joint Surg Am, 2004. **86-a**(9): p. 1936-1946.
110. Ardern, C.L., et al., *Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery*. Am J Sports Med, 2011. **39**(3): p. 538-543.
111. Kvist, J., et al., *Fear of re-injury: a hindrance for returning to sports after anterior cruciate ligament reconstruction*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2005. **13**(5): p. 393-397.
112. Häggmark, T. and E. Eriksson, *Cylinder or mobile cast brace after knee ligament surgery. A clinical analysis and morphologic and enzymatic studies of changes in the quadriceps muscle*. Am J Sports Med, 1979. **7**(1): p. 48-56.

## 8 Anhang

### 8.1 Untersuchungsbogen

**Operierte Seite:**

**Dominante Seite:**

Name des Patienten: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Geschlecht: w ☐ m ☐ Alter: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Größe: \_\_\_\_\_ Gewicht: \_\_\_\_\_ OP-Datum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- 1) Beruf: leichte (sitzende) Arbeit ☐  
 mittlere (stehende) Arbeit ☐  
 schwere (körperliche) Arbeit ☐  
 zur Zeit arbeitslos ☐

- 2) Ätiologie der VKB-Ruptur: Sport ☐ Verkehr ☐ Alltag ☐ Polytrauma ☐  
 kein Trauma erinnerlich ☐  
 Datum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

- 3) Haben Sie vor der Verletzung Sport getrieben? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja: Stunden/Woche? \_\_\_\_\_

Sportart? \_\_\_\_\_

Haben Sie vor der Verletzung an Wettkämpfen/Spielen teilgenommen? Ja ☐ Nein ☐

- 4) Treiben Sie jetzt (wieder) Sport? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja: Wann wurde der Sport wieder aufgenommen? \_\_\_\_\_

Stunden/Woche? \_\_\_\_\_

Sportart? \_\_\_\_\_

Nehmen Sie an Wettkämpfen/Spielen teil? Ja ☐ Nein ☐

Wenn nein: Warum nicht? Knie ☐ andere Gründe als Knie ☐

Planen sie eine Rückkehr? Ja ☐ Wann? \_\_\_\_\_ Nein ☐

- 5) Haben Sie Angst vor einer Reruptur? Ja ☐ Nein ☐

#### **Subjektive Beurteilung des Knies**

- 6) Ihr Aktivitätsgrad vor der Verletzung?

normal ☐ fast normal ☐ abnormal ☐ stark abnormal ☐

- 7) Ihr derzeitiger Aktivitätsgrad?

normal ☐ fast normal ☐ abnormal ☐ stark abnormal ☐

- 8) Wenn Ihr gesundes Kniegelenk eine Funktion von 100% hat. Mit wie viel Prozent würden Sie das operierte Knie einschätzen? \_\_\_\_\_

### Untersuchung des Knies

Schwellung?	keine <input type="checkbox"/>	leicht <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	deutlich <input type="checkbox"/>
Erguss?	kein <input type="checkbox"/>	leicht <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	deutlich <input type="checkbox"/>
Druckschmerz?	kein <input type="checkbox"/>	leicht <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	deutlich <input type="checkbox"/>
Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung):				
Betroffene Seite:	aktiv: ____/____/____		passiv: ____/____/____	
Normale Seite:	aktiv: ____/____/____		passiv: ____/____/____	
Streckhemmung	<3° <input type="checkbox"/>	3-5° <input type="checkbox"/>	6-10° <input type="checkbox"/>	>10° <input type="checkbox"/>
Beugehemmung	<3° <input type="checkbox"/>	3-5° <input type="checkbox"/>	6-10° <input type="checkbox"/>	>10° <input type="checkbox"/>
Vordere Schublade (90° Fl.)	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Lachmann (30° Fl.)	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Anschlag	hart <input type="checkbox"/>	weich <input type="checkbox"/>		
Gesamte a.p. Tran. (70° Fl.)	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Pos. Nachgeben in 70° Fl.	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Med. Aufklappbarkeit	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Lat. Aufklappbarkeit	1-2mm <input type="checkbox"/>	3-5mm <input type="checkbox"/>	6-10mm <input type="checkbox"/>	>10mm <input type="checkbox"/>
Pivot shift	negativ <input type="checkbox"/>	+(gleiten) <input type="checkbox"/>	++(merklich) <input type="checkbox"/>	+++ (grob) <input type="checkbox"/>
Reversed Pivot shift	negativ <input type="checkbox"/>	+(gleiten) <input type="checkbox"/>	++(merklich) <input type="checkbox"/>	+++ (grob) <input type="checkbox"/>
Payr-Zeichen	positiv <input type="checkbox"/>	negativ <input type="checkbox"/>		
Böhler-Test	positiv <input type="checkbox"/>	negativ <input type="checkbox"/>		

Umfangsmessung (15cm prox.) Betroffene Seite: \_\_\_\_\_

Normale Seite: \_\_\_\_\_

### Stabilitätsmessung mit dem KT-1000:

	Rechts	Links
1. Messung		
2. Messung		
3. Messung		

Einbeinsprung seitlich	frei <input type="checkbox"/>	mit Mühe <input type="checkbox"/>	nicht möglich <input type="checkbox"/>
Einbeinkniebeuge (betroff. S.)	frei <input type="checkbox"/>	mit Mühe <input type="checkbox"/>	nicht möglich <input type="checkbox"/>
Einbeinkniebeuge (normale S.)	frei <input type="checkbox"/>	mit Mühe <input type="checkbox"/>	nicht möglich <input type="checkbox"/>
Ganz kauern/ Entengang	frei <input type="checkbox"/>	mit Mühe <input type="checkbox"/>	nicht möglich <input type="checkbox"/>
Drop vertical jump test	valgus <input type="checkbox"/>	neutral <input type="checkbox"/>	varus <input type="checkbox"/>

### Funktionstests

#### 6-Meter Timed Hop Test:

	Rechts	Links
1. Versuch		
2. Versuch		

Horizontaler Einbeinsprungtest (Single Hop for Distance):

	Rechts	Links
1. Versuch		
2. Versuch		

Crossover Hop for Distance:

	Rechts	Links
1. Versuch		
2. Versuch		

Vertikaler Einbeinsprungtest (One-legged Vertical Jump):

	Rechts	Links
1. Versuch		
2. Versuch		

Ouadratsprungtest (Square Hop):

	Rechts	Links
1. Versuch		
2. Versuch		

**Funktionsscores:**

OAK-Score

Anamnese			Allgemeine Untersuchungsbefunde		
Schmerzen	keine	5	Druckschmerz	keine	5
	selten	3		gering	3
	häufig	2		mäßig	1
	ständig	0		stark	0
Schwellungen/ Ergüsse	keine	5	Erguss/ Schwellung	keine	5
	selten	3		gering	3
	häufig	2		mäßig	1
	ständig	0		massiv	0
Giving-way (echtes)	keine	5	OS-Umfangsdifferenz (15 cm prox.)	keine	5
	selten	2		2 cm	3
	regelmäßig	0		> 2 cm	1
Arbeit	voll	5	Extensionsdefizit (passiv)	null	5
	teilweise	3		5°	3
	Wechsel	1		10°	1
	unfähig	0		> 10°	0
Sport	voll	5	Flexion (passiv)	frei	5
	teilweise	3		> 120°	3
	Wechsel	1		> 90°	1
	unfähig	0		< 90°	0



Stabilität					
Nach vorne (Schubblade)	0	5	Nach hinten (Schubblade)	0	5
	+	4		+	4
	++	2		++	2
	+++	0		+++	0
Extensionsnahe Schubblade	0	5	Medial (in 30° Flexion)	0	5
	+	4		+	4
	++	2		++	2
	+++	0		+++	0
Lateral (in 30° Flexion)	0	5	Pivot Shift	kein	5
	+	4		fraglich	3
	++	2		positiv	0
	+++	0			
Reversed Pivot-Shift	kein	5			
	positiv	2			
Funktionelle Tests					
Einbeinsprung seitlich	frei	5	Einbein-Kniebeuge-Übung	frei	5
	mit Mühe	3		mit Mühe	3
	nicht möglich	1		nicht möglich	1
Ganz Kauern/ Entengang	frei	5			
	mit Mühe	3			
	nicht möglich	1			

#### Lysholm-Score

Hinken	nein	5	Halt	voll	5
	leicht oder wiederkehrend	3		Stock oder Gehstütze	3
	stark oder ständig	0		Belastung unmöglich	0
Treppen-steigen	keine Probleme	10	In die Hocke gehen	keine Probleme	5
	leichte Beschwerden	6		Etwas beeinträchtigt	4
	Einstufengang	2		nicht mehr als 90° Beugung	2
	nicht möglich	0		nicht möglich	0
Instabilität	kein giving-way	30	Schmerz	keine Probleme	30
	selten während Sport	25		inkonstant und leicht während schwerer Arbeiten	25
	häufig während Sport/ belastenden Übungen	20		beim giving-way	20
	vermehrt bei täglichen Aktivitäten	10		während schwerer Übungen	15
	oft in täglichen Aktivitäten	5		beim oder nach >2km laufen	10
	ständig	0		beim oder nach <2km laufen	5
				konstant und stark	0
Schwellung	keine Probleme	10	Atrophie des Oberschenkels	keine	5
	mit giving-way	7		1 - 2 cm	3
	bei schwerer Belastung	5		> 2cm	0
	bei normaler Belastung	2			
	konstant	0			

IKDC-Score

Gruppen	Grad A	Grad B	Grad C	Grad D	Gruppengrad*
<b>Subjektive Einschätzung des Patienten</b>	A: normal	B: fast normal	C: Abnormal	D: stark abnormal	
Ihre Aktivität vor der Verletzung					
Ihre gegenwärtige Aktivität					
Wenn Ihr gesundes Kniegelenk eine Funktion von 100% hat. Mit wie viel Prozent würden Sie das operierte Knie einschätzen?					
<b>Symptome</b>	I anstrengende Aktivitäten	II moderate Aktivitäten	III ADL/ leichte Aktivitäten	IV ADL/ Probleme	
Schmerz					
Schwellung					
Teilweises giving-way					
Volles giving-way					
<b>Bewegungsumfang</b>					
Extension/ Flexion	Indexseite: _____	_____	Gegenseite: _____	_____	
Streckhemmung	<input type="checkbox"/> < 3°	<input type="checkbox"/> 3 - 5°	<input type="checkbox"/> 6 - 10°	<input type="checkbox"/> > 10°	
Beugehemmung	<input type="checkbox"/> < 0 - 5°	<input type="checkbox"/> 6 - 15°	<input type="checkbox"/> 16 - 25°	<input type="checkbox"/> > 25°	
<b>Banduntersuchung</b>					
Lachmann	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Anschlag	<input type="checkbox"/> hart		<input type="checkbox"/> weich		
Gesamte a.p. Translation (70° Flex)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
post.Nachgeben in 70° Flex.	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Med.Aufklappbarkeit	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Lat. Aufklappbarkeit	<input type="checkbox"/> 1 - 2 mm	<input type="checkbox"/> 3 - 5 mm	<input type="checkbox"/> 6 - 10 mm	<input type="checkbox"/> > 10 mm	
Pivot Shift	<input type="checkbox"/> negativ	<input type="checkbox"/> + (gleiten)	<input type="checkbox"/> ++ (stark)	<input type="checkbox"/> +++ (ausgeprägt)	
Reverse Pivot Shift	<input type="checkbox"/> negativ	<input type="checkbox"/> + (gleiten)	<input type="checkbox"/> ++ (stark)	<input type="checkbox"/> +++ (ausgeprägt)	
<b>Funktionstest</b>					
One leg hop (in % der Gegenseite)	<input type="checkbox"/> 100-90%	<input type="checkbox"/> 90-76%	<input type="checkbox"/> 75-50%	<input type="checkbox"/> <50%	
<b>Gesamtbewertung**</b>					

\* Gruppengrad richtet sich nach niedrigstem Grad innerhalb einer Gruppe

\*\* Gesamtbewertung richtet sich nach niedrigstem Gruppengrad

## 8.2 Stellungnahme der Ethikkommission



Universitätsmedizin Greifswald • Fleischmannstraße 8 • D-17475 Greifswald

Universitätsmedizin Greifswald  
Klinik und Poliklinik für Chirurgie  
Abt. für Unfall und Wiederherstellungschirurgie  
Herr Dr. Jörn Lange  
Ferdinand-Sauerbruch-Straße

**D-17475 Greifswald**

Studientitel: Kriterien zur Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität nach operativer Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit autologen Hamstring- oder Semitendinosustransplantat

Antrag vom: 26.03.2015

Eingegangen am: 27.03.2015

Interne Reg.Nr.: BB 053/15

**Stellungnahme der Ethikkommission**

Sehr geehrter Herr Dr. Lange,

die Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald hat die zum o.g. Versuchsplan eingereichten Unterlagen in ihrer Sitzung am 31.03.2015 geprüft.

Die Kommission stellte mehrheitlich fest, dass gegen die Durchführung der Studie keine ethischen und rechtlichen Bedenken bestehen, und befürwortet deshalb das Vorhaben.

Die Ethikkommission empfiehlt aber die Patienteninformation entsprechend den in der Sitzung gegebenen Hinweisen zu überarbeiten.

Die Ethikkommission empfiehlt weiterhin den Abschluss einer Versicherung für Nicht-AMG/Nicht-MPG-Studien sowie den Abschluss einer Wegeunfallversicherung.

Die Ethik-Kommission macht darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung des Forschungsvorhabens beim Studienleiter und allen beteiligten Ärzten liegt. Zusammensetzung und Arbeitsweise entsprechen den gesetzlichen Bestimmungen. Den Beratungen der Kommission liegt die Deklaration von Helsinki in der aktuellen Fassung zugrunde.

Die Mitglieder der Kommission wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Durchführung des Vorhabens.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr. T. Kohlmann  
Vorsitzender der Ethikkommission

**Ethikkommission**

GESCHÄFTSSTELLE  
Universitätsmedizin Greifswald  
Ethikkommission  
Institut für Pharmakologie  
Felix-Hausdorff-Str.3  
D-17487 Greifswald

BEARBEITER  
Frau Dr. K. Salje

DATUM  
01.04.2015

Telefon:  
+49 (0)3834 86-5644

Telefax:  
+49 (0)3834 86-5631

E-mail:  
ethik@uni-greifswald.de

Internet:  
www.medizin.uni-greifswald.de

Bankverbindung:  
Deutsche Bundesbank Rostock  
Konto-Nr. 130 015 30  
BLZ 130 000 00

USt ID:  
DE137584813

SEITE 1/2

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GREIFSWALD · KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS  
VORSTAND: Prof. Reiner Biffar (Vorstandsvorsitzender) Dr. Thorsten Wygold Sylvia Langer (komm.)  
AUFSICHTSRATSVORSITZENDER: Sebastian Schröder  
Fleischmannstraße 8 · 17475 Greifswald · Tel.: +49(0)3834 86-0 · www.medizin.uni-greifswald.de

Zur Bewertung haben der Kommission vorgelegen:

- Studienprotokoll, Version vom 26.03.2015
- Patienteninformation
- Einwilligungserklärung
- Probandeninformation
- Einwilligungserklärung

Der Ethikkommission gehören an:

reguläre Mitglieder

Prof. Dr. M. Lerch\*  
Klinik für Innere Medizin A

Prof. Dr. R. Biffar  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Prof. Dr. U. Runge  
Klinik und Poliklinik für Neurologie

OA Dr. M. Gründling\*  
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

Prof. Dr. W. Siegmund  
Institut für Pharmakologie

Prof. Dr. Th. Kohlmann\*  
Institut für Community Medicine

PD Dr. B. Bockholdt  
Institut für Rechtsmedizin

Prof. Dr. H.-W. Eckert\*  
Fakultät für Rechts- und Staatswissenschaft

Prof. Dr. H. Assel  
Theologische Fakultät

OÄ Dr. S. Kietz  
Klinik und Poliklinik für Kindermedizin

CA Dr. F. Ruhland\*  
Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe  
HELIOS HanseKlinikum Stralsund

Prof Dr. H.-C. Schober\*  
Klinik für Innere Medizin, Klinikum Südstadt Rostock

Anne Huth, Medizinstudentin

\*bei der Sitzung am 31.03.2015 anwesend

ständige Stellvertreter

Prof. Dr. J. Mayerle  
Klinik für Innere Medizin A

Dr. I. Herzberg  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Prof. Dr. B. Rauch  
Institut für Pharmakologie

OÄ Dr. S. Friessecke  
Klinik für Innere Medizin B

Dr. Dr. G. Engel\*  
Universitätsapotheke

Prof. Dr. W. Hoffmann  
Institut für Community Medicine

Prof. Dr. W. Joecks  
Fakultät für Rechts- und Staatswissenschaft

Prof. Dr. H. Lang und Prof. Dr. J. Lege  
Fakultät für Rechts- und Staatswissenschaft

Prof. Dr. M. Werner  
Institut für Philosophie

PD Dr. R. Bruns  
Klinik und Poliklinik für Kindermedizin

OÄ Dr. A. Belau  
Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe

PD Dr. R. Möllmann  
niedergelassener Internist, Greifswald

Martin Wolber, Medizinstudent\*

SEITE 2/2

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GREIFSWALD · KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS  
VORSTAND: Prof. Reiner Biffar (Vorstandsvorsitzender) Dr. Thorsten Wygold Sylvia Langer (komm.)  
AUFSICHTSRATSVORSITZENDER: Sebastian Schröder  
Fleischmannstraße 8 · 17475 Greifswald · Tel.: +49(0)3834 86-0 · www.medizin.uni-greifswald.de



### 8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entstehung der Dissertation.....	18
Abbildung 2: Das KT- 1000-Arthrometer [65] .....	29
Abbildung 3: Drop-Vertikal Jump Test; links Landung in Neutralstellung; rechts Landung in Valgusposition (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke).....	34
Abbildung 4: 6-Meter Timed Hop Test [82].....	37
Abbildung 5: Single Hop for Distance [82] .....	38
Abbildung 6: Crossover Hop for Distance [82].....	39
Abbildung 7: Vertikaler Einbeinsprungtest (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke) .....	40
Abbildung 8: Quadratsprungtest (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke).....	41
Abbildung 9: Funktionsstemma (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke) .....	44
Abbildung 10: Beinbeuger (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke) .....	44
Abbildung 11: Beinstrecker (Zentrale Fotoabteilung der Universitätsmedizin Greifswald, Manuela Janke)....	45
Abbildung 12: Ätiologie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes. 76,9% der Patienten verletzten sich beim Sport. Prozentangaben beziehen sich auf das Gesamtkollektiv aus Gruppe 2 (Operation, N=52).....	49
Abbildung 13: Umfangsmessung. Dargestellt ist die Umfangsdifferenz zwischen beiden Beinen in cm. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). *Statistisch signifikanter Unterschied ( $p<0,001$ ). .....	50
Abbildung 14: Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation zwischen beiden Beinen gemessen mit dem KT-1000. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). In Gruppe 2 ist die Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation signifikant ( $p<0,05$ ) geringer als in Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. ....	51
Abbildung 15: OAK-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p<0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. ....	52
Abbildung 16: Lysholm-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p<0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....	53
Abbildung 17: IKDC-Score. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Gruppe 2 hat signifikant ( $p<0,001$ ) weniger Punkte beim OAK-Score als Gruppe 1. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. ....	54
Abbildung 18: Drop-Vertical Jump Test. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP, N=45) und Gruppe 2 (OP, N=52). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist nicht signifikant ( $p>0,05$ )......	55
Abbildung 19: Level der sportlichen Aktivität. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....	59
Abbildung 20: Sportarten, die von den Patienten aus Gruppe 2 (Operation, N=52) vor der Verletzung betrieben wurden. Einteilung nach der „Innsbruck Knee Sports Rating Scale“. Prozentangaben beziehen sich auf die gesamte Gruppe 2. 60% der Patienten betrieben vor ihrer Verletzung „high risk pivoting sport“. .....	60
Abbildung 21: Wettkampfsport nach der Verletzung. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). In Gruppe 2B nehmen nach der Verletzung signifikant ( $p<0,01$ ) mehr Patienten an Wettkämpfen teil. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. ....	61
Abbildung 22: Angabe der Patienten, ob sie Angst vor einer Reruptur haben. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). In Gruppe 2A haben signifikant ( $p<0,01$ ) mehr Patienten Angst vor einer Reruptur. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. ....	62
Abbildung 23: Subjektive Beurteilung des Aktivitätslevels nach der Verletzung. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist damit nicht signifikant.....	63
Abbildung 24: Seitendifferenz der anterior-posterioren Translation zwischen beiden Beinen gemessen mit dem KT-1000. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28)) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Der	

<i>Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 25: OAK-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 26: Lysholm-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=24). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 27: IKDC-Score. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=28). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist nicht signifikant. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 28: Korrelation Kraftmessung-Sprungtest. Dargestellt ist die positive Korrelation zwischen dem Durchschnitt der LSI-Werte der Kraftmessungen und denen der Sprungtests. Die Korrelation ist auf einem Niveau von 0,01 signifikant. ....</i>	<i>72</i>

## 8.4 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Score für die operative Behandlung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes [30].....</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 2: Gruppeneinteilung.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 3: Ergebnisbeurteilung des Scores nach Lysholm und Gillquist [69].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 4: Auswertung des Scores der OAK.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 5: Sports Frequency Score [96].....</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 6: Darstellung der Patientengruppen mit Aufschlüsselung einiger Merkmale. Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 7: Mittelwerte der Kraftmessungen und T-Test bei unabhängigen Stichproben. Aufteilung in Gruppe 1 (keine OP) und Gruppe 2 (OP). Angegeben ist jeweils der Mittelwert der LSI-Werte in %. .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 8: Vergleich der Differenz des Hamstrings-Quadriceps-Verhältnisses (H-Q-V) zwischen der 10. Postoperativen Woche und des Follow-ups. Aufteilung in Gruppe 2A (Semitendinosus, N=28) und Gruppe 2B (Hamstrings, N=28). Die angegebenen Prozentwerte beziehen sich auf das Gesamtkollektiv der jeweiligen Gruppe.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle 9: Vergleich der Return to sports- und Return to competition-Rate mit der Literatur. ....</i>	<i>76</i>

### **8.5 Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät und keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum

Unterschrift



## **8.6 Lebenslauf**

Der Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht veröffentlicht.

Der Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht veröffentlicht.

## **8.7 Danksagung**

Ich danke dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative Medizin Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Axel Ekkernkamp ganz herzlich für die Überlassung des interessanten Promotionsthemas und die Möglichkeit, meine Promotion an seiner Klinik durchzuführen.

Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer PD Dr. med. Jörn Lange, Oberarzt der Klinik und Poliklinik Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative Medizin, der mich stets bei der Konzeption und Durchführung meiner Dissertation unterstützt hat und mit wertvollen Ratschlägen das Gelingen der Arbeit ermöglichte. Auch den Mitarbeitern des ambulanten Rehabilitationszentrums und der Sporttherapie der Universitätsmedizin Greifswald, besonders Oberärztin Dr. med. Susanne Westphal und Sporttherapeutin Silke Schäfer, danke ich für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und Gerätschaften, sowie für die hilfreiche Unterstützung.

Ganz herzlich danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die mich während meines gesamten Studiums liebevoll unterstützt und mich in Krisen immer wieder ermutigt und bestärkt haben.

Zu guter Letzt danke ich allen Patienten, die an dieser Studie teilgenommen haben, und somit die Entstehung dieser Dissertation erst möglich gemacht haben.